

Étude de l'efficacité de cinq souches natives de rhizobiums sur les paramètres phytosanitaires et de rendement chez des variétés de soja

Mako François De Paul N'GBESSO^{1*}, Lassina FONDIO¹, N'Guessan Christophe KOUAME²
et Noupé Diakaria COULIBALY¹

¹ Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

² World Agroforestry Center (ICRAF), 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : mako2ngbesso@yahoo.fr

Résumé

En Côte d'Ivoire, la plupart des variétés de soja cultivées ne produisent pas de nodules ou en produisent très peu. Des travaux de recherche initiés pour remédier à ce problème ont permis d'isoler et de caractériser des souches locales de bactéries du genre *Bradyrhizobium* dont cinq ont fait l'objet de cette étude. Le dispositif expérimental était un Split plot à deux facteurs avec 3 répétitions. Les résultats obtenus ont montré qu'en général, les niveaux d'attaques des plants par les insectes et les virus ont été faibles pour tous les traitements. Les poids de nodules secs obtenus ont varié de 4,3 g à 10,8 g. au niveau du poids de 100 graines, certaines variétés n'ont pas présenté de différences significatives entre les traitements. Par contre, d'autres se sont comportées selon la souche de bactérie qui leur a été inoculée. La variété Doko a obtenu le meilleur poids de 100 graines (19,2 g) avec la souche IRAT-FA3. Les souches 68D2, 5CB et le traitement témoin ont affichés les plus faibles poids de 100 graines compris entre 15,1 g et 16 g. Les autres souches 26D4, 11C1 et 81R1, ont présentés des poids intermédiaires variant de 16,5 g à 18,6 g. Les meilleurs rendements des souches natives ont été obtenus par les variétés Doko inoculée avec la souche 81R1 (4202,4 kg / Ha), Tracaja inoculée avec la souche 26D4 (4214 kg / Ha) et IT-235 inoculée avec la souche 81R1 (4142,9 kg / Ha). Ces deux souches (26D4 et 81R1) ont donc été sélectionnées pour produire des inoculums nécessaires à la culture du soja.

Mots-clés : *efficacité, souches natives de rhizobium, soja, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Study of the efficiency of five native strains of rhizobia on phytosanitary and yield parameters in soybean varieties

In Côte d'Ivoire, most cultivated soybean varieties do not produce or produce very little nodules. Initial research to address this problem has identified and characterized local strains of *Bradyrhizobium* bacteria, five of which were studied. The experimental design was a two-factor Split plot with 3 repetitions. The results obtained showed that in general, the levels of plants attack by insects and viruses were low for all the treatments. The dry nodule weights obtained varied from 4.3 g to 10.8 g. About the level of 100 seeds, some varieties did not show significant differences between treatments. On the other hand, others behaved according to the strain of bacteria that was inoculated. Variety Doko obtained the best weight of 100 seeds (19.2 g) with the IRAT-FA3 strain. Strains 68D2, 5CB and control treatment showed the lowest weights of 100

seeds ranging from 15.1 g to 16 g. The other strains 26D4, 11C1 and 81R1 showed intermediate weights ranging from 16.5 g to 18.6 g. The best yields of the native strains were obtained by Doko strains inoculated with strain 81R1 (4202.4 kg / Ha), Tracaja inoculated with strain 26D4 (4214 kg / Ha) and IT-235 inoculated with strain 81R1 (4142, 9 kg / Ha). These two strains (26D4 and 81R1) were therefore selected to produce inocula necessary for the cultivation of soybean.

Keywords : *efficiency, native strains of rhizobia soybean, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

La capacité de la plante de soja à fixer l'azote atmosphérique en symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium* constitue un atout important pour la durabilité des systèmes de production agricoles. Elle induit une amélioration du rendement en graines et des autres paramètres symbiotiques chez le soja et des cultures subséquentes [1, 2]. Or, dans des travaux réalisés en Côte d'Ivoire, il est apparu que la plupart des variétés cultivées ne produisent pas de nodules ou en produisent très peu [3]. De plus, le soja y est généralement cultivé sans apport adéquat d'engrais et des rendements moyens faibles (moins d'une tonne par hectare) sont enregistrés en milieu paysan [4]. Ainsi, l'on pourrait supposer comme dans certains sols d'Europe [5] que l'absence ou la rareté des bactéries symbiotes du genre *Rhizobium* dans les sols ivoiriens, seraient responsables des faibles nombres de nodules observés et des rendements bas obtenus. Pour vérifier ces hypothèses, des tests d'inoculation par la technique d'enrobage des semences avant le semis avec une souche introduite de *Bradyrhizobium japonicum*, IRAT-FA3 ont été effectués dans plusieurs zones de production de soja. Ils ont permis d'accroître les rendements et d'améliorer le nombre de nodules au niveau des racines des variétés cultivées. En effet, selon [6], les écarts de rendement obtenus entre les traitements inoculés et non inoculés ont varié entre 9,29 % et 52,31 % selon le site d'une part et la variété d'autre part. C'est ainsi que l'inoculation des semences de soja par des souches efficaces de bactéries avant le semis a été recommandée dans l'itinéraire technique de la culture du soja en Côte d'Ivoire. Dès lors, il s'est avéré nécessaire d'identifier des souches natives efficaces de bactéries qui permettront d'améliorer les rendements en soja graines à travers une fixation biologique abondante de l'azote dans le sol. C'est dans cette optique que des travaux de recherche effectués par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) ont permis d'isoler et de caractériser plusieurs souches locales de bactéries du genre *Bradyrhizobium* dont cinq ont fait l'objet de cette étude. L'objectif de ces travaux est de déterminer le niveau d'efficacité de ces cinq souches vis-à-vis de quelques variétés de soja cultivées ou en cours de sélection à travers quelques paramètres agronomiques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

Les travaux ont été conduits à la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières du Centre National de Recherche Agronomique (SRCV / CNRA) à Bouaké entre Juillet et Décembre. Cette période a été définie comme étant la plus propice à la culture du soja en zone de savane de Côte d'Ivoire [2 - 4]. Les sols du site expérimental sont ferrallitiques typiques ou rajeunis, sur granite, ou des sols remaniés, avec des sous-groupes indurés, appauvris ou hydromorphes [5 - 7]. Bouaké, ville du Centre de la Côte d'Ivoire à environ 350 km d'Abidjan, est située à 7°46 de Latitude Nord, 5°06 de Longitude Ouest et à 376 m d'altitude (**Figure 1**). Elle a une superficie de 28.530 Km² avec une densité de 53,9 habitants / km² [6 - 8]. Sa population est majoritairement paysanne [9]. Le climat est de type guinéen forestier avec un régime pluviométrique

2-2-2. Souches de rhizobiums

Au niveau des bactéries étudiées, on note :

- cinq (05) souches locales. Il s'agit des souches I1C1 ; 5CB ; 81R1 ; 26D4 et 68D2 (**Tableau 2**). Elles ont été isolées à partir d'échantillons de sols prélevés dans différentes localités de Côte d'Ivoire. Puis, elles ont été caractérisées au Laboratoire des Symbioses Tropicales à Montpellier (LSTM) ;
- une (01) souche de référence IRAT-FA3. Elle a été introduite du Laboratoire des Symbioses Tropicales de Montpellier (**Tableau 2**). Son efficacité sur les variétés de soja cultivées en Côte d'Ivoire est déjà bien établie [15]. En plus de ces souches, un traitement neutre ou témoin (T : sans inoculum) a servi à tester la présence ou non de souches natives de bactéries dans la parcelle expérimentale.

Tableau 2 : Liste des souches de bactéries étudiées

NO d'ordre	Souche	Spécification	Observation
1	I1C1	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> USDA115	
2	5CB	<i>Bradyrhizobium elkanii</i> R17	Natives de Côte d'Ivoire
3	81R1	<i>Bradyrhizobium elkanii</i> UNDA90	
4	26D4	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> DASA38025	
5	68D2	<i>Bradyrhizobium</i> sp	
6	IRAT-FA3	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Introduite (France)

2-3. Méthodes

La liste des traitements par répétition ou par bloc se présentait comme suit :

- Souche I1C1 (V1, V2, V3, V4, V5 et V6) = 6 traitements ;
- Souche 5CB (V1, V2, V3,....., V6) = 6 traitements ;
- Souche 81R1 (V1, V2, V3,....., V6) = 6 traitements ;
- Souche 26D4 (V1, V2, V3,....., V6) = 6 traitements ;
- Souche 68D2 (V1, V2, V3....., V6) = 6 traitements ;
- Souche de référence IRAT-FA3 (V1, V2, V3,....., V6) = 6 traitements ;
- Témoin neutre (V, V2, V3,....., V6) = 6 traitements.

Ce qui faisait un total de $(6 \times 7) = 42$ traitements par bloc.

Le dispositif expérimental était un Split plot à deux facteurs avec 3 répétitions. Le facteur principal est l'inoculum avec 7 niveaux de traitements dont 5 sont constitués des souches locales de bactéries, un de la souche de référence IRAT-FA3 et un témoin neutre (T) sans inoculum. Le facteur secondaire était la variété avec 6 niveaux que sont : Canarana, Doko, Piramama, Tracaja, IT-235 et Boa-Vista. La combinaison de ces deux facteurs et du nombre de répétitions a donné un total de 126 parcelles élémentaires pour l'ensemble de l'essai. Dans chaque bloc, la parcelle élémentaire était représentée par 9 lignes de semis sur une superficie de 4 m x 4 m, soit 16 m². Les deux lignes de semis situées de chaque côté de la parcelle élémentaire ont constitué la bordure. Ainsi, la parcelle utile était limitée aux 9 m² intérieurs. Deux traitements consécutifs étaient distants de 1 m. Tandis que deux blocs consécutifs étaient séparés par une allée de 2 m de large. La superficie totale de l'essai avec les bordures était de 2500 m². L'analyse des données a été faite à l'aide du logiciel SAS selon une ANOVA II, suivie de la séparation des moyennes à l'aide du test de Duncan au seuil de 5 %. Les observations et mesures ont porté sur les paramètres symbiotiques suivants :

- La capacité de nodulation de chaque souche au niveau des racines a été notée sur une échelle de 1 à 5, au 60^{ème} jour après semis (JAS) avec 1 = sans nodule ; 2 = présence de quelques nodules éparses ; 3 = présence moyenne de nodules ; 4 = présence abondante de nodules et 5 = présence très abondante de nodules. Cette notation a été faite selon le manuel d'évaluation de l'Asian Vegetable Research Center [16] ;
- Le poids (g) de nodules secs prélevés sur 20 plants ;
- Le poids (g) de 100 graines de soja ;
- Le rendement (T / Ha) ;
- Les niveaux des dommages causés par les insectes, les maladies virales et les pustules bactériennes ont été aussi notés sur une échelle de 1 à 5 selon un mode d'appréciation identique à celui de la capacité de nodulation.

3. Résultats

3-1. Niveau des dégâts provoqués par les pustules bactériennes

Les variétés testées n'ont présenté aucun signe d'infestation lié à une attaque par les pustules bactériennes au niveau de leurs feuilles (**Tableau 3**). En effet, tous les traitements ont obtenu la note de 1 / 5.

Tableau 3 : Niveau d'infestation des variétés de soja par les pustules bactériennes

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramana	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	1a*	1a	1a	1a	1a	1a
IRAT-FA3	1a	1a	1a	1a	1a	1a
ITC1	1a	1a	1a	1a	1a	1a
68D2	1a	1a	1a	1a	1a	1a
Témoin	1a	1a	1a	1a	1a	1a
5CB	1a	1a	1a	1a	1a	1a
81R1	1a	1a	1a	1a	1a	1a
Moyenne	1	1	1	1	1	1
CV (%)	0	0	0	0	0	0
R ²	0	0	0	0	0	0

**Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes*

3-2. Niveau des attaques des plants de soja par les insectes

En général, les niveaux d'attaques relevés sur toutes les variétés de soja quel que soit le traitement appliqué ont été faibles. En effet, les notes attribuées ont varié entre 1 / 5 et 2 / 5 avec des moyennes comprises entre 1,3 / 5 et 1,8 / 5 relevés au niveau des variétés Doko et Tracaja respectivement. Les variétés Piramama et Boa-Vista ont été relativement les plus attaquées au niveau de leur traitement avec la souche 26D4 avec une note de 2 / 5 pour chacune. Malgré le niveau faible d'attaques par les insectes, des différences significatives ont été notées entre traitements au sein de certaines variétés comme Tracaja et Boa-Bista. Au niveau des autres variétés telles que Canarana, Doko, Piramama et IT-235, aucune différence significative n'a été perçue les traitements par effectués avec les différentes souches. Il en a été de même au niveau du traitement témoin (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Niveau d'infestation des plants de soja par les insectes (échelle de 1 à 5)

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramana	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	1,7a*	1a	2a	1,7a	1,7a	2a
IRAT-FA3	1,3a	1,7a	1,7a	1,3ab	1,7a	1,3ab
IIC1	1,3a	1,3a	1,7a	1,3ab	1,3a	1,3ab
68D2	1,7a	1,3a	2a	1,3ab	1,3a	1,3ab
Témoin	1,3a	1a	1,7a	1b	1,3a	1b
5CB	1a	1,5a	2a	1,3ab	1a	1,3ab
81R1	1,7a	1,3a	1,7a	1,3ab	1,3a	1,3ab
Moyenne	1,43	1,3	1,8	1,3	1,4	1,4
CV (%)	24,2	27,9	41,8	22,2	30,9	34,1
R ²	0,72	0,6	0,3	0,8	0,6	0,6

*Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes

3-3. Niveau d'attaque des plants par les viroses

Le nombre moyen de plants attaqués par les viroses ne présente aucune différence significative au sein des variétés comme Canarana, Piramama, IT-235 et Boa-Bista quel que soit la souche de bactérie inoculée. Par contre, au sein des variétés Doko et Tracaja, les différences exprimées ont été significatives entre les traitements. Les plus fortes moyennes ont été de 4,3 et 4,2 plants / Ha, au niveau des variétés Canarana et IT-235, respectivement (**Tableau 5**). Ces nombres de plants attaqués par les maladies virales sont faibles par rapport à la densité de semis qui était de 300.000 plants à l'hectare.

Tableau 5 : Nombre moyen de plants attaqués par hectare par les viroses selon variété et par le traitement

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramana	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	4,3a*	3,7ab	5a	5,3a	4a	1,7a
IRAT-FA3	2,7a	2,3a	3,3a	2,7bc	5,3a	1,7a
IIC1	5,7a	6,7a	4,7a	4,3ab	4a	1a
68D2	6,3a	2b	4,3a	2bc	6a	2a
Témoin	3,3a	4,3ab	4,7a	1,7bc	3,3a	0a
5CB	3,7a	1,7b	2,0a	0,3c	2,7a	1a
81R1	4a	4ab	3,3a	2bc	3,7a	0,7a
Moyenne	4,3	3,5	4	2,6	4,2	1,1
CV (%)	71,3	59,9	62,8	54,7	51,5	97,2
R ²	0,2	0,5	0,5	0,8	0,5	0,4

*Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes

3-4. Poids sec de nodules récoltés sur 20 plants

En ce qui concerne le poids sec de nodules prélevés sur 20 plants, toutes les variétés à l'exception de Piramama, ont présenté en leur sein des différences significatives selon le traitement appliqué. Ainsi, au niveau des variétés Canarana, Doko, Tracaja, IT-235 et Boa-Vista, ce sont les souches 26D4, IRAT-FA3 et 81R1

qui ont eu les poids les plus élevés traduisant du coup, leurs fortes capacités de production de nodules (**Tableau 6**). Les poids obtenus vont de 4,3 g chez avec la variété Canarana inoculée par la souche IRAT-FA3 à 10,8 g avec la variété Boa-Vista inoculée par la souche 26D4 (**Figure 2**). Ces deux variétés ont produit peu de nodules avec les souches I1C1, 68D2, 5CB et le traitement témoin (**Figure 3**). En général, les plus fortes moyennes de nodulation ont été obtenues avec les variétés Doko, IT-235 et Boa-Vista, avec des poids sec moyens variant de 4,13 g (Doko) à 5,3 g pour la variété Boa-Vista. La variété IT-235 affiche une valeur moyenne de 4,4 g (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Poids (g) de nodules secs prélevés sur 20 plants par variété de soja

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramana	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	5,9a*	9,3a	2,3a	6,6a	7,6ab	10,8a
IRAT-FA3	4,3a	8a	1,9a	5,7ab	8,6a	9,6a
I1C1	1,4c	1,3b	1,2a	2,1bc	2,9bc	2,7b
68D2	1,7c	1,3b	1a	1,1c	2,4bc	1,3b
Témoin	1,3c	0,9b	1,3a	1,2c	1,9c	1,2b
5CB	0,9c	1b	0,2a	0,9c	1,5c	1,9b
81R1	2,4bc	7,3a	1,9a	5,1bc	5,8abc	9,8a
Moyenne	2,4	4,13	1,4	3,4	4,4	5,3
CV (%)	53,2	6,32	95,8	67,6	62,8	60,5
R ²	0,7	0,8	0,34	0,7	0,7	0,7

**Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes*



Figure 2 : Racines de soja avec beaucoup de nodules (Boa-Vista/26D4)



Figure 3 : Racines de soja sans nodule (Doko / témoin)

3-5. Valeurs estimées de la capacité de nodulation des souches de bactéries

Les valeurs estimées sur une échelle de 1 à 5 de la capacité de nodulation de chacune des variétés vis-à-vis des différentes souches au 60^{ème} jour après semis ont été une réplique des résultats obtenus au niveau du poids sec des nodules consignés dans le **Tableau** précédent. En effet, on observe que les variétés Canarana,

Doko, Tracaja, IT-235 et Boa-Vista qui ont eu des poids élevés de nodules secs sont les mêmes qui ont présenté de fortes notes comprises entre 3 / 5 et 4 / 5. Ces notes ont été obtenues avec les trois souches qui sont 26D4, IRAT-FA3 et 81R1. Quant aux autres souches 11C1, 68D2, 5CB et le traitement témoin, ils ont eu des notes faibles comprises entre 1 / 5 et 2 / 5 au niveau de ces mêmes variétés (**Tableau 7**).

Tableau 7 : Niveau de nodulation des variétés de soja estimé au 60^{ème} jour après semis sur une échelle de 1 à 5.

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramana	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	4a*	3,7a	3,3ab	4a	3,7a	4a
IRAT-FA3	4a	3,7a	3,3ab	3,7a	3,3a	3,7a
11C1	2c	1b	2b	1,3b	1,7b	1,7c
68D2	2,7abc	1b	2,3ab	1b	2,7ab	1c
Témoin	2,3bc	1,3b	2,3ab	1b	1,7b	1,3c
5CB	1,3c	1b	3ab	1,3b	2b	1c
81R1	3,7ab	3,7a	3,7a	3,7a	3,7a	2,7b
Moyenne	2,9	2,2	2,9	2,2	2,67	2,2
CV (%)	28,2	38,6	28,9	25,1	22,9	22,3
R ²	0,7	0,8	0,5	0,9	0,8	0,9

*Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes

3-6. Poids de 100 graines

Les poids de 100 graines des variétés Canarana, Piramama, IT-235 et Boa-Vista n'ont pas présenté de différences significatives au niveau de leurs traitements respectifs. Par contre, le poids de 100 graines de la variété Doko a varié selon la souche qui lui a été inoculée. Ainsi, l'inoculation faite avec la souche IRAT-FA3 a présenté le meilleur poids de 100 graines avec 19,2 g, tandis que les souches 68D2, 5CB et le traitement témoin ont obtenu les plus faibles poids compris entre 15,1 g et 16 g. Les traitements avec les souches 26D4, 11C1 et 81R1 ont eu des poids intermédiaires de 15,1 g à 18,6 g. Dans l'ensemble, les meilleures moyennes de poids de 100 graines ont été obtenues au niveau des variétés Doko et Tracaja avec respectivement 16,95 g et 15,5 g (**Tableau 8**).

Tableau 8 : Poids(g) de 100 graines produits selon le traitement par les variétés de soja

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramana	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	12,3a*	16,5abc	15,3a	15,8a	15,2a	15,2a
IRAT-FA3	12,3a	19,2a	16,1a	16,8a	16,1a	16,1a
11C1	11,2a	17,6abc	15,8a	13,7a	13,8a	13,8a
68D2	11,9a	15,5c	14,2a	16,5a	13,5a	13,5a
Témoin	11,5a	15,1c	14,7a	17,1a	14,3a	14,3a
5CB	12,1a	16bc	13,6a	15,1a	13,8a	13,8a
81R1	11,1a	18,6ab	14,9a	13,5a	15,5a	15,5a
Moyenne	11,8	16,95	14,9	15,5	14,59b	13,8
CV (%)	7,7	8,7	13,5	15,4	9	21,4
R ²	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5

*Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes

3-7. Rendement

Hormis la variété Canarana, les rendements des cinq autres variétés testées ont présenté à leur sein, des différences significatives selon les souches de bactéries inoculées (**Tableau 9**). Les meilleurs rendements ont été obtenus avec la variété Doko inoculée avec les souches IRAT-FA3 (4190,5 kg / Ha) et la souche 81R1 (4202,4 kg / Ha), puis avec la variété Tracaja inoculée avec la souche 26D4 (4214 kg / Ha) et enfin, la variété IT-235 inoculée avec la souche 81R1 (4142,9 kg / Ha). Cependant, on remarque que la variété Doko n'a pas eu de bons rendements suite à l'inoculation avec les 3 autres souches de rhizobiums que sont I1C1, 68D2 et 5CB. En effet les rendements obtenus par cette variété avec ces souches sont sensiblement égaux et se situent entre 1285,8 kg / Ha et 1857,2 kg / Ha. Par contre, la variété Piramama a présenté de bons rendements au niveau de tous les traitements y compris avec le traitement témoin. Ces rendements ont varié de 2904,8 kg / Ha avec la souche 5CB à 3988,1 kg / Ha avec la souche IRAT-FA3. De plus, on note au niveau de cette variété un rendement de 3226,2 kg / Ha chez le traitement témoin. Quant aux variétés Doko, Tracaja et Boa-Vista, elles ont présenté les mêmes comportements vis-à-vis des souches I1C1, 68D2 et 5CB. En effet, elles n'ont pas répondu à l'inoculation par ces souches. Elles ont donc obtenu de faibles rendements qui se situent entre 1119,1 kg / Ha et 2012,0 kg / Ha. Comme la variété Doko, la variété Tracaja a été sensible à l'inoculation faite avec les souches 26D4 avec 4214 kg / Ha, IRAT-FA3 avec 3428,6 kg / Ha, et 81R1 avec 3654,8 kg / Ha. Quant à la variété IT-235, elle a réagi comme la variété Piramama. En effet, elle a présenté des rendements élevés aussi bien avec toutes les souches de rhizobiums testées qu'au niveau du traitement témoin. Cependant, ses meilleurs rendements ont été obtenus avec les souches 26D4 (3881 kg / Ha) et 81R1 (4142,9 kg / Ha). Enfin, la variété Boa-Vista qui a obtenu ses meilleures performances avec les souches 26D4, IRAT-FA3 et 81R1 a eu le même comportement que les variétés Doko et Tracaja. Ainsi, ses meilleurs rendements allant de 3333,4 kg / Ha et 3785,7 kg / Ha ont été acquis avec ces souches, respectivement. Avec les autres souches et le traitement témoin, elle n'a obtenu qu'entre 1154,8 kg / Ha et 2012 kg / Ha. Au niveau des moyennes par variété, ce sont les variétés Canarana, Piramama et IT-235 qui ont obtenu les rendements moyens les plus élevés avec 3013,3 kg / Ha pour Canarana ; 3486,4 kg / Ha pour Piramama et 3394,6 kg / Ha pour IT-235 (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Rendement moyen (kg / Ha) par variété et par traitement

Variété Souche	Canarana	Doko	Piramama	Tracaja	IT-235	Boa-Vista
26D4	3797,7a*	2773,8b	3583,4ab	4214,0a	3881,0a	3785,7a
IRAT-FA3	3119,1a	4190,5a	3988,1a	3428,6a	3273,9ab	3333,4a
I1C1	3095,3a	1857,2bc	3642,9ab	1047,7c	3392,9ab	1581,1bc
68D2	3047,7a	1285,8c	3476,17ab	1238,1bc	3321,4ab	1476,6bc
Témoin	2785,5a	1452,4c	3226,2ab	2190,5b	3202,4ab	1154,8c
5CB	2655,0a	1738,1bc	2904,8b	1119,1bc	2547,7b	2012,0b
81R1	2595,3a	4202,4a	3642,9ab	3654,8a	4142,9a	3619,1a
Moyenne	3013,6	2500	3486,4	2413,3	3394,6	2423,2
CV (%)	24,04	24,13	13,01	24,67	19,54	17,38
R ²	0,5	0,87	0,69	0,89	0,55	0,91

**Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes*

4. Discussion

Les plants de tous les traitements testés ont eu un taux faible d'attaque par les pustules bactériennes. Cela confirme le caractère de résistance de ces variétés à cette maladie. Il en est de même pour les dégâts causés par les insectes et les maladies virales qui ont été réduits à des niveaux très faibles. Ces résultats sont conformes à ceux de [17]. L'impact de ces trois paramètres est important dans la production de soja. En effet, les pustules bactériennes, les insectes et les viroses peuvent entraîner chez le soja des pertes de récoltes pouvant aller jusqu'à 100 % si les attaques surviennent tôt dans les parcelles de production [18, 19]. En ce qui concerne le paramètre de poids sec de nodules, les différences significatives observées au niveau des traitements d'une même variété et entre les variétés prouvent que les variétés de soja ne réagissent pas de la même façon à l'inoculation d'une souche de bactérie. En effet, [20] ont montré que le degré de symbiose entre une souche de bactérie et une variété est régi par des processus physiologiques et enzymatiques spécifiques. Les traitements avec des souches de bactéries qui ont les mêmes poids secs de nodules que certains traitements témoins non inoculés, traduisent que ces souches de bactéries appliquées n'ont eu aucun effet sur les variétés de soja concernées. Cela démontre la notion de spécificité entre la souche de bactérie et la variété de soja pour une fixation efficiente de l'azote de l'air qui se traduit par une amélioration des paramètres symbiotiques.

Cette notion a été mise rapportée par [21] dans des travaux sur les légumineuses à graines dans les zones tropicales semi-arides. Cela peut donc démontrer une très bonne compatibilité entre les variétés de soja et souches de bactéries en présence. C'est ce qu'on a observé chez les variétés Canarana, Tracaja, IT-235, Boa-Vista et Doko avec les souches de bactéries 26D4, IRAT-FA3 et 81R1. Ce type de comportement des variétés vis-à-vis des souches de bactéries qui se traduit par la production d'une importante quantité de nodules peut confirmer que ces bactéries sont à haut niveau d'efficience comme l'ont souligné [22] sur des souches du Vietnam et [23] sur des souches natives du Canada. De même, on peut affirmer que les souches 11C1, 68D2 et 5CB n'ont pas été efficaces sur toutes les variétés étudiées. En effet, le comportement similaire de ces trois souches à celui du traitement témoin au niveau de la capacité de formation de nodules peut être assimilé un manque d'efficience. En effet, les poids secs de nodules, sensiblement identiques à ceux des traitements témoins au niveau de toutes les variétés en est une démonstration parfaite. Quant à la variété Piramama, elle n'a présenté aucune différence significative au niveau des souches de rhizobiums et du traitement témoin au niveau du poids sec de rhizobium. Les poids sec de nodules obtenus avec les souches 11C1, 68D2 et 5CB et surtout avec le traitement témoin pourraient être le fait d'une nodulation issues des souches natives de *Bradyrhizobium japonicum* présentes dans le site de l'essai comme l'avait relevé [24, 25].

Chez le niébé, les souches natives efficaces de cette espèce montrent de tels niveaux de nodulation [26]. On remarque que la variété Piramama qui a eu de faibles poids de nodules secs a obtenu la note de 3,3 / 5 avec les souches 26D4 et IRAT-FA3 puis la note 3,7 / 5 avec la souche 81R1. Conformément aux résultats acquis par [27] cela pourrait expliquer les poids relativement élevés de nodules secs qui ont été enregistrés à leur niveau avec cette variété. Les souches de rhizobiums 11C1, 68D2 et 5CB se comportent comme le traitement témoin de par leur production faible de nodules. Ces genres de résultats ont été obtenus par [28] au Bénin. Elles peuvent par conséquent être considérées comme des souches non efficaces pour les six variétés testées en particulier et peut être pour le soja en général. Au niveau du poids de 100 graines, à l'exception de la variété Doko, aucune différence significative n'a été observée au niveau des 6 souches avec 5 autres variétés étudiées. Cette variété s'est démarquée ainsi des autres au niveau de ce paramètre et a démontré le fait que la réaction à l'inoculation d'une variété de soja avec une souche de bactérie dépend aussi du caractère étudié. De même chez le niébé, comme l'ont révélé [29], tous les paramètres symbiotiques ne s'expriment pas de la même façon chez toutes avec les différentes souches de bactéries. Comme dans le cas du poids de 100 graines, cette différence d'expression de la variété Doko vient confirmer ce qui précède. A

savoir que le comportement d'une variété de soja vis à vis d'une souche de bactérie donnée, est fonction du paramètre étudié. De plus, on a remarqué que la variété Doko qui, malgré les différences significatives exprimées au niveau du poids de 100 graines avec les 6 souches de bactéries, ne répond pas à l'inoculation avec les souches I1C1, 68D2 et 5CB au niveau du rendement. En effet, ceci pourrait s'expliquer en partie par les poids faibles de 100 graines obtenus et qui ont été proches de celui du témoin. De même, la variété Tracaja a eu les mêmes réactions que la variété Doko vis-à-vis de ces trois souches. On pourrait dire de ces variétés qu'elles sont à nodulation stricte [12]. Ce qui expliquerait leur sensibilité à l'inoculation avec les souches 26D4, IRAT-FA3 et 81R1. Par contre, les variétés Piramama et IT-235 ont obtenu des rendements élevés avec les autres souches de rhizobiums telles que I1C1, 68D2 et 5CB voire avec le traitement témoin. Ce type de comportement variétal pourrait s'expliquer par la réaction des souches natives du sol de la parcelle d'expérimentation [20]. En effet, il est bien connu en matière d'inoculation chez le soja que des souches natives peuvent induire une fixation biologique importante de l'azote et masquer ainsi l'activité des souches introduites [20]. Des cas similaires ont été signalés par [17] au Kenya et par [14] en Côte d'Ivoire. Elles ont aussi obtenu de bons rendements 26D4, IRAT-FA3 et 81R1. De tels niveaux d'efficience à la fois avec les souches natives du sol d'expérimentation et les souches natives inoculées font dire de ces variétés qu'elles sont à nodulation libre ou mixte [14].

5. Conclusion

L'étude des paramètres phytosanitaires au niveau des traitements a montré que les variétés utilisées sont résistantes pour certaines et tolérantes pour d'autres aux trois paramètres étudiés. En effet, les variétés testées n'ont pas présenté de signes liés à des attaques sévères par les pustules bactériennes, les insectes et les maladies virales. Au niveau des paramètres du rendement, l'étude de l'efficience des 5 souches de rhizobiums natives comparée à celle de la souche de référence introduite IRAT-FA3, a permis de révéler plusieurs aspects dans le comportement des variétés. En effet, il est ressorti que toutes les variétés de soja ne répondent pas de la même façon à une souche de bactérie donnée. De plus, au niveau d'une même souche de bactérie et d'une même variété de soja, les réponses à l'inoculation divergent en fonction des paramètres étudiés. Ainsi, au niveau de ces paramètres, différents types de variétés de soja ont été distingués parmi les six testées. Le premier type comportant la variété Canarana, n'a pas réagi de façon significative aux différents traitements qui lui ont été appliqués. Il n'y a donc pas eu de différences significatives entre les rendements des différents traitements. L'autre groupe est constitué par les variétés Doko, Tracaja et Boa-Vista qui n'ont pas répondu significativement aux souches de rhizobiums I1C1, 68D2 et 5CB ainsi qu'au traitement témoin. Sur les quarante deux combinaisons ou traitements étudiés, les meilleurs rendements ont été obtenus avec la variété Doko inoculée avec les souches IRAT-FA3 et 81R1 avec 4190,5 kg / Ha et 4202,4 kg / Ha, respectivement. Il en est de même de la variété Tracaja inoculée avec la souche 26D4 avec 4214 kg / Ha et la variété IT-235 inoculée avec la souche 81R1 avec 4142,9 kg / Ha. Ces deux souches natives (26D4 et 81R1) ayant obtenu des niveaux de nodulation et de rendements plus élevés, ont été sélectionnées pour produire des inoculum nécessaires à la culture du soja. Quant aux souches 5CB, I1C1 et 68D2, leur comportement similaire à celui du traitement témoin est la preuve évidente de leur non efficience vis-à-vis des variétés de soja étudiées.

Références

- [1] - K. E. N'GORAN, K. E. KASSIN, G. P. ZOHOURI, M. F. P. N'GBESSO et G. R., Performances agronomiques des associations culturales igname-légumineuses alimentaires dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 43 (2011) 2915 - 2923
- [2] - T. J. GALA BI, M. CAMARA, M. F. P. N'GBESSO et Z. J. KELI, Améliorer le rendement du riz pluvial par la fertilisation minérale et la fertilisation biologique : Cas du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] et du soja [*Glycine max* (L.) Merrill] inoculés. Fiche technique. *Centre National de Recherche Agronomique*, (2010) 4 p.
- [3] - N. C. KOUAME, M. ADAKO et M. F. P. N'GBESSO, Activités et Aquis du Projet de recherche pour le développement de la culture du soja dans les zones Centre et Centre-Nord de la Côte d'Ivoire. *Note technique N° 99/01/CNRA/PCMP*. Convention CNRA-TRITURAF, CNRA-PACIL, CNRA-IITA, (2002) 24 p.
- [4] - N. C. KOUAME, L. FONDIO, A. H. DJIDJI et M. F. P. N'GBESSO, Rapport d'activités de recherche pour le développement de la culture du soja dans les zones Nord et Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Convention CNRA-PROJET SOJA*, (1994) 85 p.
- [5] - F. COLLARD et S. ARNAUD, Le soja déplaçonne le rendement de mon maïs et de mon blé. *Terre-Net Média*, (2016) 16 p.
- [6] - M. F. P. N'GBESSO, Thèse de doctorat unique N° 682 / 2011. UFR Biosciences Université de Cocody-Abidjan, (2011) 187 p.
- [7] - B. KONE, S. DIATTA, S. OIKEH, Y. GBALLOU, M. CAMARA, D. D. DOHM, et A. ASSA, Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur : usage de la couleur en morphopédologie. *Canadian Journal of Soil Science*, 89 (3) (2009) 331 - 342
- [8] - G. World. 2013 Côte d'Ivoire : divisions administratives (population et superficie) disponible auprès <http://www.gazetteer.de/wg.php?x=&men=gadm&lng=fr&des=wg&geo=-50&srt=npan&col=abcdefghijklmno&msz=1500>, Novembre 2016
- [9] - N. OUTTARA, Note Thématique sur les Ressources Génétiques Forestières. Situation des ressources génétiques forestières de la Côte d'Ivoire (Zone de savanes), (2001) 43 p.
- [10] - Y. T. BROU, F. AKIDENS et S. BIGOT, La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cah. Agric.*, 14 (6) (2005) 533 - 540
- [11] - S. SORO, M. DOUMBI, D. DAO, A. TSCHANNEN et O. GIRADIN, 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) (2007) 123 - 130
- [12] - J. B. AVIT, P. L. PEDIA et Y. SANKARE, Diversité Biologique de la Côte d'Ivoire. Rapport de synthèse, Ministère de l'Environnement et de la Forêt, (1999) 273 p.
- [13] - B. Y. BRINDOU, Effet de trois substrats sur deux variétés de tomate en culture hors-sol au centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de Master2, Université Nangui Abrogoua, Abidjan Côte d'Ivoire, (2016) 52 p.
- [14] - M. F. P. N'GBESSO, N. C. KOUAME, A. S. P. N'GUETTA et K. FOUA BI, Impact de trois méthodes de conservation sur les taux de germination, d'humidité et de parasitage des semences de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Agronomie Africaine*, XXI (3) (2009) 215 - 330
- [15] - M. F. P. N'GBESSO, N. C. KOUAME, A. S. P. N'GUETTA et K. FOUA BI, Evaluation de l'inoculation et de la nodulation spontanée chez 11 variétés de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Sciences et Nature*, Vol. N°1 (2010) 59 - 67
- [16] - AVRDC, Manual of vegetable soybean characterization and evaluation-Research Needs for Production and Quality Improvement, Taiwan, (2003) 111 p.
- [17] - M. F. P. N'GBESSO, N. C. KOUAME, G. P. ZOHOURI et D. KONATE, Evaluation finale du rendement et des paramètres phytosanitaires de lignées de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] dans deux zones agro écologiques de savane de Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (2) (2013) 574 - 583

- [18] - M. LACROIX, La rouille du soja. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Direction de l'innovation scientifique et technologique. *Agriculture, Pêcheries et Alimentaires*. Québec, (2004) 43 p.
- [19] - C. M. BENBROOK, Rust, Resistance, Run Down Soils and Rising Coasts-Problems Facing Soybean Producers in Argentina. *Consulting services*, Janvier (2005) 17 p.
- [20] - P. L.WOOMER, Fixation Biologique et Entreprise de légumineuses à graines : Directives des Maîtres Fermiers pour N₂ Africa. *Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture*, (2010) 17 p.
- [21] - B. JEROME et V. VINCENT, S'appuyer sur les multiples bénéfices des légumineuses à graines pour une agriculture plus productive et nutritive dans les tropiques semi-arides. Sécheresse. *Sécheresse*, Vol. 24, N° 4 (2013) 314 - 321
- [22] - J. P. H.MPUNGA, A. C. SAMINE, G. SEMACUMU et C. DUSHIMIMANA, Effet de l'inoculation au rhizobium et de fertilisation au triple super phosphate sur le comportement des variétés du soja. *Annales de l'UNIGOM*, Vol. VI, N° 2 (2016) 99 - 110
- [23] - L. JOCHEMS-TANGUAY, Les inoculants mychoriziens pour une agriculture québécoise plus productive et moins dépendante aux engrais minéraux phosphatés. Mémoire de Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, (2014) 87 p.
- [24] - M. LECOURTIER, L'inoculation, clé du développement? *Cultivar*, (2016) 18 p.
- [25] - G. F. BEUGRE, M. F. P. N'GBESSO, T. J. AMA-ABINA et G. R. YORO, Influence d'un herbicide et de l'inoculation sur la croissance du soja cultivé sur un sol gravillonnaire de plateau du soja. *Agronomie Africaine*, XXV (3) (2013) 221 - 229
- [26] - M. F. P. N'GBESSO, G. P. ZOHOURI, L. FONDIO, A. H. DJIDJI et D. KONATE, 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) (2013) 457 - 467
- [27] - F. KARABONEYE, Caractérisation de l'efficacité symbiotique des lignées africaines de soja à haute promiscuité. Mémoire de Maîtrise en Biologie. *Université de Laval*, Québec, Canada, (2013) 123 p.
- [28] - P. HOUNGNANDAN, Acquis de la recherche sur l'inoculation et le partenariat pour la diffusion de la technologie. Présentation à l'*Atelier Inoc.*, Dakar-Sénégal, (2013)
- [29] - K. ABOUBACAR, Z. M. OUSMANE, H. I. AMADOU et A. M. ZOUBEROU, Effet de la co-inoculation du rhizobium et de mycorhizes sur les performances agronomiques du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] au Niger. *J. Appl. Biosci.*, 72 (2013) 5846 - 5854