

## Evaluation de l'efficacité de l'inoculation des semences chez 11 génotypes de soja (*Glycine max* L. Merrill) en zone de savane de Côte d'Ivoire

Mako F. De P. N'GBESSO<sup>1</sup>, Assanvo S. P. N'GUETTA<sup>2</sup>, N'Guessan C. KOUAMÉ<sup>1</sup> & Kouahou FOUA BI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) 01 BP 1740 Abidjan 01 (Côte d'Ivoire)

<sup>2</sup>UFR Biosciences, Laboratoire de Génétique et Amélioration des Plantes, Université de Cocody 22 B. P. 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire)

<sup>3</sup>Consultant au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) 01 BP 1740 Abidjan 01 (Côte d'Ivoire)

\*Auteur pour les correspondances (E-mail : mako\_ngbesso@yahoo.fr)

Reçu le 20-02-2009, accepté le 08-04-2010.

### Résumé

Dans le cadre de la relance de la sojiculture en Côte d'Ivoire, l'étude de la relation symbiotique (bactérie - plante) a été réalisée en vue d'optimiser la production. L'inoculation a été faite par enrobage des semences de soja juste avant leur semis avec un mélange de culture pure de la souche IRAT-FA3 de *Bradyrhizobium japonicum* dans un support tourbeux. Cette technique a permis d'optimiser les rendements en soja graines et les autres paramètres de la symbiose. Ainsi, les écarts de rendement obtenus entre les traitements inoculés et non inoculés ont varié de 9,29 à 52,31 % selon le site et la variété. De plus, les souches locales ou introduites de bactéries *Bradyrhizobium japonicum* ont présenté des degrés de sensibilité variables en fonction des génotypes de soja testés. Deux groupes de variétés ont été ainsi distingués. Le premier étant constitué des variétés dites à "nodulation stricte" car elles n'ont pu établir une symbiose efficace qu'avec la souche IRAT-FA3. Ces variétés ont leurs nodules situés au niveau du collet. Le second groupe de variétés comprend les variétés dites à "nodulation libre" qui ont établi une symbiose avec des souches autochtones et la souche introduite IRAT-FA3. Au sein de ce second groupe, deux sous-groupes ont été distingués dont l'un à "nodulation libre et limitée" avec présence de nodules sur les racines limitée entre le collet et les dix premiers centimètres de profondeur du sol et l'autre à "nodulation libre et totale" renferme des variétés dont les nodules sont disséminés sur toute la longueur des racines.

**Mots clés :** Soja, Inoculation, nodulation, bactérie, Côte d'Ivoire.

### Abstract

*Monitoring the effectiveness of the inoculation with bacteria (*Bradyrhizobium japonicum*) for 11 genotypes of soybean (*Glycine max* L. Merrill) in savannah area of Côte d'Ivoire*

*For the revival of the sojiculture in Côte d'Ivoire, the study of the symbiotic relationship (plant - bacteria) was conducted in order to optimize the production. Inoculation was made by coating of soybean seeds just before planting with a mixture of pure culture of the strain-IRAT FA3 of *Bradyrhizobium japonicum* in a peat medium. This technique has been used to optimize the yields of soybean grains and other parameters of symbiosis. Thus, differences in yield obtained among treatments inoculated and uninoculated ranged from 9.29 to 52.31 % depending on the site and the variety. Local and the introduced strains of bacteria *Bradyrhizobium japonicum* have presented varying degrees of sensitivity depending on the genotypes of soybean tested. Two groups of varieties have been so distinguished. The first one consisting of varieties called "strict nodulation varieties" because they only could establish an efficient symbiosis with the strain IRAT - FA3. These varieties have their nodules located at the collar. The second group of varieties includes varieties called "free nodulation varieties" which established a symbiosis with indigenous strains and the strain introduced IRAT FA3. Within this second group, two subgroups were distinguished with "free and limited nodulation varieties" which have nodules on the roots confined between the collar and the top ten centimeters of soil depth and the other is "free and total nodulation varieties". Their nodules are scattered throughout the length of roots.*

**Keywords:** Soybean, Inoculation, nodulation, bacteria, Côte d'Ivoire

## 1 Introduction

Malgré les progrès génétiques réalisés, le potentiel optimal de production est rarement exprimé par les variétés cultivées de soja à cause des contraintes biotiques et abiotiques qui interviennent dans l'élaboration des composantes du rendement (Bouniols *et al.*, 1979). Les recherches de solution ont révélé le rôle important du climat mais surtout ceux de l'eau et des éléments minéraux du sol (l'azote, phosphore, potassium, etc.) sur l'évolution des différents organes de la plante (Mulongoy, 2005). Le déficit de ces éléments conduit à une importante réduction du nombre d'organes fructifères formés, quel que soit la variété ou le cultivar de soja (Puech & Bouniols, 1986). Ainsi, de hauts rendements peuvent être obtenus s'il y a une adéquation entre les phases phénologiques des composantes du rendement et la disponibilité en éléments nutritifs (eau, azote, phosphore, potassium, etc.). L'azote en particulier, est d'une grande importance chez le soja dont les graines sont constituées de 38 à 45 % de protéines (Cheftel *et al.*, 1985). Par conséquent, une nutrition azotée continue des plants de soja par le biais de la fixation biologique de l'azote assurée par les bactéries *Bradyrhizobium japonicum*, pourrait, en améliorant les taux de nodulation, contribuer à accroître leur productivité. Ainsi, l'inoculation par enrobage des graines avec des souches efficaces de ces bactéries avant le semis tel que préconisé par Vitosh (1997) serait une voie indispensable et peu onéreuse par rapport à l'utilisation d'importantes quantités d'engrais minéraux, pour atteindre cet objectif. Pour ce faire, des travaux sur l'évaluation de l'efficacité de l'inoculation des semences chez 11 variétés de soja ont été effectués à Bouaké et Touba, deux localités situées en zone de savane de Côte d'Ivoire au cours de la campagne agricole 2000-2001. Les objectifs assignés à ces travaux sont d'une part, l'optimisation à moindre coût de la productivité des variétés cultivées de soja, la détermination un nouvel itinéraire technique de la culture du soja et d'autre part, la préservation de l'environnement par l'utilisation des fertilisants organiques (inoculum) et la réduction des quantités d'engrais chimiques.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1. Sites d'expérimentation

Les sites d'expérimentation sont Touba et Bouaké situés respectivement au Nord-Ouest et au Centre de la Côte d'Ivoire. Les coordonnées géographiques de ces deux localités sont 8° 16' de latitude Nord et 7° 41' longitude Ouest pour Touba et 5° 41' de latitude Nord et 5° 02' de longitude Ouest pour Bouaké. À Touba, ce sont les périmètres du Centre de Formation et de Démonstration (CFD) du Projet Soja qui ont été utilisés pour conduire les essais. À Bouaké, les travaux ont été conduits à la Station de Recherche des Cultures Vivrières (SRCV) du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA).

La végétation de ces régions est caractérisée par des savanes appartenant au domaine soudanais avec cependant, des lambeaux de forêts semi-décidues et des forêts de galeries aux bords des cours d'eau (Aubreville, 1949). Le climat est de type bimodal à Bouaké avec deux saisons de pluie allant de Mars à Juin et de Septembre à Octobre. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 1100 et 1200 mm. À Touba, le climat est monomodal avec une saison sèche de Novembre à Mars et une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 1400 et 1600 mm. Au cours de ces dernières années, ces régions de savanes ont été marquées par des perturbations climatiques notamment au niveau de la pluviométrie (N'Cho, 1991).

L'analyse des échantillons de sols prélevés à Touba et à Bouaké avant la mise en place des essais a montré des sols à pH acides de 5,4 et 5,90 et des taux de phosphore assimilable de 93 ppm et 25 ppm. Les taux de matières organiques de 1,33 % et 0,83 % et d'azote total de 0,11 % et 0,07 % respectivement à Bouaké et à Touba ont été déterminés. Le rapport C/N a été identique (12) dans les deux localités.

### 2.2. Matériel

#### 2.2.1. Matériel végétal

Onze variétés de soja ont constitué le matériel végétal utilisé. Le premier lot, constitué des

variétés R2-231, R8-271, 1440-1E, 1740-2F, 1856-1F, 1828-12E, 1826-4E, 1838-5E provient de l'Institut International d'Agronomie Tropicale (IITA) au Nigéria. Elles ont été sélectionnées à la suite de plusieurs étapes d'évaluations multi locales. Ces variétés sont en cours de vulgarisation. Le deuxième lot quant à lui, est constitué de trois variétés (Canarana, Emgopa 308 et Doko) originaires du Brésil et vulgarisées en Côte d'Ivoire par le Projet Soja depuis plus de 20 ans.

### 2.2.2. Souche de bactérie

La souche I.R.A.T-FA3 de *Bradyrhizobium japonicum* a été utilisée pour la production de l'inoculum. Elle a été décrite comme étant très compétitive en sol acide et a été déjà utilisée au Rwanda, au Burundi, en Madagascar et au Cameroun (Rolim & Adou, IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, résultats non publiés).

## 2.3. Méthodes

### 2.3.1. Analyse des échantillons de sols

Avant la mise en place des essais, des échantillons de sols ont été prélevés à l'aide d'une tarière sur une profondeur de 20 cm. Ces échantillons ont fait l'objet d'analyses au Laboratoire Central des Sols, Eaux et Plantes (LCSEP) du CNRA à Bouaké. Celles – ci ont porté sur la matière organique (C organique, N total et C/N), le phosphore assimilable et le complexe adsorbant (pH eau). La méthodologie utilisée a varié selon le type d'élément recherché. Ainsi, le carbone organique a été déterminé selon la méthode Walkey-Black, l'azote total par celle de Kjeldahl, le phosphore assimilable par celle de Bray II et enfin le pH par la méthode électronique au pH-mètre à électrode de verre sur une suspension.

### 2.3.2. Inoculation et semis

La méthode d'inoculation par enrobage des semences a été utilisée. La dose a été de 100 g d'inoculum pour 15 kg de semences. La densité de bactéries était de  $10^9$  bactéries/gramme d'inoculum.

### 2.3.3. Dispositif expérimental et conduite des essais

Les essais ont été conduits selon un dispositif en blocs de Fisher avec un arrangement en Split plots à 4 répétitions dans les deux localités (Touba et Bouaké). Dans ce dispositif, l'inoculation étant le facteur principal avec deux niveaux de traitement. Le facteur secondaire était représenté par les 11 variétés. Le semis des graines a été fait selon des écartements de 50 cm entre les lignes et de 20 cm entre les poquets sur la ligne. Trois graines ont été semées par poquet soit une densité maximale attendue de 300.000 plants à l'hectare. Les parcelles témoins ont été ensemencées en premier afin d'éviter la contamination par les bactéries contenues dans l'inoculum. Les parcelles élémentaires mesuraient 4 m x 3 m soit une superficie de 12 m<sup>2</sup>. Les parcelles utiles occupaient 6 m<sup>2</sup> à l'intérieur des parcelles élémentaires. La distance entre deux parcelles élémentaires adjacentes était de un mètre alors que les blocs ont été séparés par une allée de deux mètres. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué durant tout le cycle de culture. Par contre, deux sarclages manuels ont été faits.

### 2.3.4. Observations et mesures

Aux stades de la floraison et du début du remplissage des gousses, les observations et mesures ont été faites sur cinq plants prélevés de façon aléatoire. Le nombre de nodosité a été déterminé par comptage. Le type de nodulation sur les racines s'est fait par l'observation de la zone de localisation des nodules sur celles-ci depuis le collet jusqu'aux extrémités. Quant au pourcentage des nodosités actives, c'est le rapport entre le nombre de nodosités à coloration interne rouge et le nombre total de nodosités récoltés sur les 5 plants par variété et par répétition après incision de celles-ci. En effet, selon Beuerlein (1997), seules les nodosités ayant une coloration interne rouge vive ont une activité fixatrice maximum d'azote. La coloration des feuilles (jaune vert ou vert foncé) a été aussi observée et notée.

À la maturité des gousses, les plants des parcelles utiles ont été récoltés, séchés et battus pour libérer les graines des gousses après un vannage. Les

graines issues des parcelles utiles ont été pesées. Les rendements en graines par hectare ont été déterminés. A l'aide d'un compteur automatique de graines (Numigral), 1000 graines ont été comptées et pesées.

### 2.3.5. Analyse statistique des données

Les données obtenues ont été analysées selon la procédure linéaire du logiciel SAS à travers des analyses de variances à deux facteurs (ANOVA II). Pour chaque composante de rendement examinée, la comparaison des moyennes a été effectuée selon le test de Duncan au seuil de 5 %.

## 3. Résultats

### 3.1. Évaluation du nombre de nodules et leur taux d'activité

À Bouaké, certaines variétés testées ont répondu très positivement à l'inoculation par une augmentation significative du nombre de nodosités par rapport au témoin respectif. Il s'agit de 1740-2F, 1828-4E, Canarana, Doko, Emgopa 308, 1838-5E, R2-231 et R8-271 (Tableau 1). En effet, ces variétés ont exprimé des pourcentages élevés de nodosités actives qui ont varié de 73 % (1740-2F) à 98 % (Doko) au niveau des variétés inoculées. Par contre, au niveau des traitements témoins, ces taux ont varié entre zéro (Doko et Emgopa 308) à 45 % (1828-4E et R2-231).

Les variétés 1440-1E, 1856-1F et 1878-12E ont donné une réponse plus faible suite à l'inoculation que les huit autres testées. En effet, chez ces variétés ce sont les traitements témoins qui ont présenté des nombres de nodosités par plant relativement plus élevés que les variétés inoculées. Chez la variété 1440-1E, 46 nodules ont été dénombrés au niveau du traitement témoin contre 34 pour la variété inoculée.

Sur le site de Bouaké, des différences significatives ont été observées entre les variétés inoculées d'une part et d'autre part entre les traitements témoins au niveau du nombre de nodosités par plant.

À Touba, au niveau de toutes les variétés étudiées, il a été observé que le nombre et le taux de nodosités actives est assez élevé aussi bien chez les traitements inoculés que chez les

traitements témoins. Les moyennes générales respectives ont été de 50,1 écart type contre 41,27 écart type nodules par plant et 74,75 % contre 70,1 % de nodules actifs (Tableau 2). La variété Doko a présenté des différences significatives à la fois au niveau du nombre de nodosités (66 nodules contre 21) et du pourcentage de nodosités actives par plant entre les deux traitements (97,7 % pour l'inoculé contre 48,8 % pour le témoin). Aucune différence significative entre les variétés inoculées et les traitements témoins sur ce site pour le nombre de nodosités par plant n'a été observée.

**Tableau 1:** Nombre de nodules et taux d'activité à Bouaké

Géotypes	Nb. Nod. /Plt		Nod. Act./ Plt (%)	
	Ino	T	Ino	T
R2-231	58 a	22 b	78 ab	45 ab
R8-271	48 ab	24 b	82 ab	38 ab
1878-12E	26 c	29 b	62 b	56 a
1440-1E	34 b	46 a	64 b	61 a
1740-2F	67 a	32 b	73 ab	36 ab
1828-4E	40 b	24 b	80 ab	45 ab
1856-1F	47 ab	58 a	65 b	55 a
1838-5E	46 ab	29 b	78 ab	35 ab
Canarana	46 ab	8 c	85 ab	15 b
Doko	44 ab	2 c	98 a	0 c
Emgopa 308	38 b	1 c	87 ab	0 c
Moyenne	44,91	25	77,45	35,1
CV (%)	3,2	25,7	14,9	23,7
R <sup>2</sup>	0,88	0,62	0,76	0,53

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Duncan).

Nb. Nod. /Plt: Nombre de nodules par plant

Nod. Act./ Plt (%): Nodosités actives par plant (%)

Ino: Inoculé

T: Témoin

**Tableau 2:** Nombre et taux d'activité des nodules à Touba

Géotypes	Nb. Nod. /Plt		Nod. Act./ Plt (%)	
	Ino	T	Ino	T
R2-231	58 a	45 a	75,4 b	69,20 ab
R8-271	46 a	46 a	63,3 b	68,30 ab
1878-12E	50 a	44 a	70,8 b	62,70 ab
1440-1E	44 a	39 a	78,8 ab	75,30 ab
1740-2F	58 a	42 a	60,1 b	68,90 ab
1828-4E	42 a	44 a	84,8 ab	91,10 a
1856-1F	48 a	44 a	61,4 b	67,10 ab
1838-5E	44 a	43 a	88,4 ab	78,9 ab
Canarana	44 a	43 a	65,4 b	65,7 ab
Doko	66 a	21 b	97,7 a	48,8 b
Emgopa 308	50 a	43 a	76,1 ab	84,9 a
Moyenne	50,1	41,27	74,75	70,1
CV (%)	3,2	7,1	17,3	22,4
R <sup>2</sup>	0,86	0,75	0,69	0,58

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Duncan).

Nb. Nod. /Plt: Nombre de nodules par plant

Nod. Act./ Plt (%) : Nodosités actives par plant (%)

Ino : Inoculé

T : Témoin

### 3.2. Évaluation du rendement et du poids de 1000 graines

Les résultats obtenus à Bouaké (Tableau 3) ont montré que par rapport au témoin, l'inoculation a amélioré le rendement en grains des variétés vulgarisées Canarana de 2105,1 à 2530,8 kg/ha soit 425,7 kg/ha; Doko de 1848,5 à 2590,9 kg/ha soit 742,4 kg/ha et de 1730,5 à 2635,7 kg/ha soit 905,2 kg/ha pour Emgopa 308. En ce qui concerne certaines variétés en cours de vulgarisation comme R2-231, R8-271, 1740-2F, 1828-4E, 1838-5E, elles ont enregistré respectivement un accroissement de rendements à l'hectare de 792,3 kg/ha, 1055,1 kg/ha, 1254,2 kg/ha, 870,8 kg/ha et 630,8 kg/ha. Par contre, chez les variétés 1878-12E, 1440-1E et 1856-1F, les gains apportés par l'inoculation par rapport aux témoins sont relativement faibles.

En effet, au niveau de ces variétés, des différences de rendement de l'ordre de 170,2 kg/ha (3110,7 kg/ha contre 2940,5 kg/ha pour 1878-12E), de 164,8 kg/ha (3015,3 kg/ha contre 2815,5 kg/ha pour 1440-1E) et de 237,9 kg/ha (3138,2 kg/ha contre 2900,3 kg/ha pour 1856-1F) ont été observées.

Le rendement le plus élevé sur le site de Bouaké a été obtenu avec le traitement inoculé de la variété 1740-2F avec 4234,9 kg/ha. Les poids de 1000 grains ont été beaucoup améliorés par l'inoculation par rapport à ceux des témoins chez la plupart des géotypes sauf chez les variétés 1440-1E et 1856-1F où les témoins sont légèrement supérieurs aux traitements inoculés avec respectivement 141,8 g contre 150,37 g et 131,3 g contre 142,6 g. Par ailleurs, on n'observe aucune différence significative entre les variétés au sein d'un même traitement.

**Tableau 3 :** Rendement et poids de mille graines à Bouaké

Géotypes	Rdt (kg/ha)		Pds 1000 Grn (g)	
	Ino	T	Ino	T
R2-231	3722,5 a	2930,2 a	193,13 a	139,49 a
R8-271	3905,8 a	2850,7 a	185,2 a	140,5 a
1878-12E	3110,7 a	2940,5 a	146,84 a	135,69 a
1440-1E	3015,3 a	2850,5 a	141,8 a	150,37 a
1740-2F	4234,9 a	2980,7 a	178,2 a	135,9 a
1828-4E	3751,1 a	2880,3 a	156,3 a	137,63 a
1856-1F	3138,2 a	2900,3 a	131,3 a	142,6 a
1838-5E	3231,6 a	2600,8 a	162,3 a	149,3 a
Canarana	2530,8 b	2105,1 b	129,52 a	87,72 a
Doko	2590,9 b	1848,5 b	140 a	111 a
Emgopa 308	2635,7 b	1730,5 b	139,92 a	97,57 a
Moyenne	3260,68	2601,64	154,95	130,16
CV (%)	13,5	17,2	6,7	5,4
R <sup>2</sup>	0,75	0,71	0,82	0,87

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Duncan).

Rdt (kg/ha) : Rendement en kg par hectare

Pds 1000 Grn (g) : Poids de 1000 graines en gramme

Ino : Inoculé

T : témoin

À Touba, les résultats ont révélé qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements inoculés au niveau du rendement en graines pour

toutes les variétés en voie de vulgarisation. Par contre, des différences significatives ont été obtenues entre ces nouvelles variétés en diffusion et les variétés largement vulgarisées comme Canarana et Doko et Emgopa 308 (Tableau 4). Les mêmes observations ont été faites au niveau des témoins de ces deux groupes de variétés. Cependant, les variétés 1440-1E, 1740-2F, 1838-5E et Emgopa 308 ont tout de même présenté des gains importants de rendement suite à l'inoculation. Ainsi, il a été enregistré un écart de rendement de 363,1 kg/ha chez 1440-1E, 499,8 kg/ha chez 1740-2F ; 550,3 kg/ha chez 1838-5E et 350,8 kg/ha chez Emgopa 308. Les variétés R2-231, R8-271 et 1740-2F avec des rendements respectifs de 4137,3 ; 4175,3 et 4300,1 kg/ha ont eu les meilleurs rendements avec l'inoculation. Par contre, au niveau de la variété 1828-4E, le rendement du témoin a été supérieur à celui du traitement inoculé avec 3880,4 t/ha contre 3550,7 kg/ha soit 329,7 kg/ha d'écart.

**Tableau 4 :** Rendement et poids de mille graines à Touba

Génotypes	Rdt (kg/ha)		Pds 1000 Grn (g)	
	Ino	T	Ino	T
R2-231	4137,3 a	3870,4 a	185,2 a	173,3 b
R8-271	3962,7 a	3850,8 a	179,4 a	162,7 b
1878-12E	3750,5 a	3550,7 a	183,8 a	169,1 b
1440-1E	4175,3 a	3812,2 a	191,2 a	180,9 a
1740-2F	4300,1 a	3800,3 a	185,1 a	179,5 a
1828-4E	3550,7 ab	3880,4 a	177,1 a	172,3 b
1856-1F	3537,2 ab	3662,5 a	186,3 a	179 a
1838-5E	3987,6 a	3437,3 a	190,6 a	181,3 a
Canarana	2312,5 b	2578,4 b	167,1 a	155,7 b
Doko	2690,9 b	2762,9 b	178,8 a	176,6 b
Emgopa 308	2763,5 b	2412,7 b	155,7 a	151,9 b
Moyenne	3560,75	3419,87	180,03	171,12
CV (%)	22,1	18,7	4,2	16,4
R <sup>2</sup>	0,57	0,71	0,83	0,77

Dans chaque colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (Test de Duncan).

Rdt (kg/ha) : Rendement en kg par hectare

Pds 1000 Grn (g) : Poids de 1000 graines en gramme

Ino : Inoculé

T : témoin

Les valeurs obtenues dans cette localité, aussi bien au niveau du rendement que du poids de 1000 graines, ont été les plus élevées des deux sites étudiés. Il n'y a pas de différence significative au niveau du poids de 1000 graines entre les variétés dans le traitement inoculé. Par contre, chez les témoins des différences significatives ont été observées entre les variétés. Le meilleur poids moyen de 181,3 g a été obtenu avec la variété 1838-5E contre 151,9 g pour la variété Emgopa 308 (Tableau 4).

### 3.3. Type de nodulation et aspects végétatifs des plants.

À Bouaké, les variétés Doko, Canarana et Emgopa 308 ont eu un nombre moyen de nodules très faible au niveau de leur traitement témoin (Tableau 1). Les plants sont généralement de coloration jaune vert et n'ont pas entièrement couvert les interlignes de semis de 50 cm (Fig. 1A). Cependant, ces variétés ont montré une très bonne réponse suite à l'inoculation qui s'est traduite par un nombre élevé de nodules, une coloration vert foncée des plants qui ont entièrement couvert toute les interlignes (Fig. 1B). Sur les deux sites, les nodosités chez ces variétés ont été surtout localisées au niveau du collet (Fig. 2). Ces variétés qui ont établi une symbiose efficace avec la seule souche IRAT-FA3 de *B. japonicum* ont constitué un groupe de variétés dites "variétés à nodulation stricte".

Un autre groupe a été identifié et a réuni toutes les variétés en voie de diffusion. Les plants de ces variétés ont présenté une coloration verte des feuilles et un nombre relativement élevé de nodules quelque soit le type de traitement. Ces génotypes qui ont pu noduler à la fois avec la souche IRAT-FA3 et les souches autochtones de *B. japonicum* ont été désignés comme étant des "variétés à nodulation libre". Au sein de ce groupe, deux sous-groupes ont été observés. Le premier sous-groupe est représenté par des variétés dites à "nodulation intermédiaire ou limitée". En effet, chez ces variétés la zone de la rhizosphère où sont apparues la majorité des nodosités est située entre le collet et les dix premiers centimètres de profondeur du sol (Fig. 3). Il a regroupé les génotypes 1740-2E ; 1828-4E, 1838-5E ; R2-231 et R8-271. Les plants ont présenté des feuilles à coloration verte qui a évolué en vert foncé avec l'inoculation.

Le deuxième sous-groupe de variétés dites "variétés à nodulation totale" a regroupé les lignées 1440-1E, 1856-1F et 1878-12E qui ont des nodosités abondantes réparties sur toute la longueur des racines. Chez ces variétés, des nodules ont été observés à plus de vingt centimètres dans le sol (Fig. 4). Ce sous-groupe renferme des individus avec des feuilles à coloration verte qui a évolué en vert foncé après l'inoculation comme dans le cas du premier sous-groupe à la figure 1B.



Echelle : 1/5

**Figure 1A:** Feuillage vert-jaune et mauvaise couverture du sol par les plants de soja à nodulation stricte non inoculés (Variété : Doko)



Echelle : 1/5

**Figure 1B:** Feuillage vert foncé et très bonne couverture du sol de soja à nodulation stricte après inoculation (Variété : Doko).



Echelle : 1/5

**Figure 2:** Nodules au collet de soja à "nodulation stricte" après inoculation (Variété : Doko).



Echelle : 1/5

**Figure 3:** Nodules de soja à nodulation "limitée ou intermédiaire" après inoculation (Variété: R2-231)



Echelle : 1/5

**Figure 4:** Nodules de soja inoculé à "nodulation totale" après inoculation (Variété: 1440-1E)

#### 4. Discussion

La présence de nodules chez les témoins a révélé l'existence de souches autochtones de *Bradyrhizobium japonicum* dans tous les sols des deux sites d'étude même si le nombre de nodules spontanés par plant a été très faible voire nul chez certaines variétés. Ces résultats confirment ceux de Mulongoy (2005). En effet, parlant des facteurs biotiques limitants de la nodulation, l'auteur a cité l'absence de souches efficaces requises ou leur insuffisance comme une des contraintes majeures de ce phénomène biologique.

La localisation des nodules essentiellement au niveau du collet chez les variétés à "nodulation stricte" sur les sites de Touba et Bouaké pourrait s'expliquer par la restriction de la zone d'activité des souches de *B. japonicum* efficaces pour ces variétés à cette couche superficielle du sol. Au-delà de cette zone, ces bactéries pourraient être inefficaces ou totalement absentes car aucune n'a été aperçue au delà.

Chez les individus à "nodulation limitée ou intermédiaire", la capacité de vie ou d'efficacité des souches de bactéries serait limitée à la zone située entre le collet et aux environs des dix premiers centimètres de profondeur du sol. L'inoculation a renforcé l'activité symbiotique des souches locales.

Quant à la distribution des nodosités sur toute la profondeur de la rhizosphère chez les génotypes à "nodulation totale", elle serait due au fait que les souches de bactéries efficaces de ces variétés soient présentes aussi bien en surface que dans les profondeurs des sols. Ces variétés ont peu réagi à l'inoculation à cause de la présence d'autres souches de bactéries qui leur ont été efficaces et qui leur ont permis de former des nodules supplémentaires.

L'amélioration significative de la coloration des feuilles passant de vert à vert foncé, du poids de 1000 graines et du rendement, chez toutes les variétés à nodulation stricte et intermédiaire par l'inoculation pourrait être la conséquence d'une bonne nutrition azotée des plants. Ceci serait dû à la fixation symbiotique de l'azote assurée par une importante population de la souche IRAT-FA3 enfouie dans le sol après l'inoculation. En effet, selon Anthony (2005), une inoculation typique des graines de soja induit une augmentation de 256.10<sup>9</sup> bactéries par are dans le sol.

En outre, les faibles teneurs en azote des sols à Bouaké (0,11 %) et à Touba (0,07 %), constituent des preuves évidentes que les hauts rendements obtenus sont liés à la fixation biologique d'azote. Ces rendements moyens de 3260,68 kg/ha à Bouaké et de 3560,75 kg/ha à Touba sont nettement supérieurs à ceux obtenus par Nzabi et al. (2000) avec les variétés Belgium Congo (1720 kg/ha) et Hill (1430 kg/ha) après l'inoculation. Par ailleurs, les résultats de cette étude ont aussi montré que l'amélioration du rendement et des autres paramètres étudiés après l'inoculation ont varié selon la localité et les variétés testées. En effet, des écarts de rendements différents entre localités, induits par l'inoculation, ont été aussi rapportés par Yen (2004) au Vietnam avec la variété 1448- 2E. Ces différents comportements seraient liés à la capacité de chaque variété à fixer l'azote avec les souches de bactéries en présence (Gwata et al., 2003).

À Touba, les taux de nodulation et d'activité très élevés ont été enregistrés aussi bien dans les parcelles inoculées que dans les parcelles témoins chez toutes les variétés y compris Canarana, Emgopa 308 et Doko qui ont été identifiées comme étant des variétés à "nodulation stricte". Ce phénomène trouve une justification dans les travaux de Rolim et Adou (IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, résultats non publiés) selon lesquels l'inoculation avait été pratiquée dans la plupart des parcelles de ce site au début du Projet Soja en 1988. Les bactéries introduites dans le sol par inoculation peuvent y demeurer actives pendant 10 à 125 ans (Nutman, 1975). Les souches ainsi introduites à Touba se seraient multipliées au cours des nombreux cycles de culture de soja et n'ont donc pas permis de révéler significativement l'effet de l'inoculation qui a été faite avec la souche IRAT-FA3.

#### 5 Conclusion

Dans les deux sites d'expérimentation, l'inoculation des semences de soja a augmenté le rendement en graines et la plupart des paramètres étudiés. Les rendements obtenus ainsi que les autres paramètres étudiés ont été plus élevés à Touba qu'à Bouaké.

Les variétés ont présenté différents niveaux de sensibilité face à l'inoculum et aux souches locales de bactéries. Ainsi, deux groupes distincts

ont été identifiés parmi les 11 variétés étudiées. Le premier groupe est constitué de variétés à "nodulation stricte" (Doko, Canarana et Emgopa 308) et les variétés à "nodulation libre". Au sein de ce dernier groupe, deux sous-groupes ont été identifiés. Les géotypes à "nodulation limitée ou intermédiaire" que sont R2-231, R8-271, 1740-2F, 1828-4E, 1838-5E et les géotypes à nodulation totale" comme 1440-1E, 1856-1F et 1878-12E. De plus, ces travaux ont permis de confirmer que la nodulation spontanée induite par les souches autochtones de bactéries a été généralement renforcée par l'inoculation faite avec IRAT-FA3. En effet, à Bouaké où l'inoculation n'a jamais été pratiquée, les densités de populations des souches de bactéries ont été faibles et insuffisantes pour réaliser une fixation symbiotique optimale avec les variétés testées. De ce fait, l'inoculation avec des souches efficaces de bactéries peut s'avérer toujours nécessaire dans n'importe quel site pour optimiser les rendements des nouvelles variétés sélectionnées.

### Références citées

- Anthony B. 2005. Soybean Inoculation, Should we do it ? South Dakota State University. Plant Science Department. Final report. December, 2005; 15 p.
- Aubreville A. 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales. Paris, 77-108.
- Beuerlein J. 1997. Soybean: Soybean Inoculation and Nitrogen Nutrition. Agronomic Crops Team On-Farm Research Projects 1997. Special Circular, 160-98. 2p.
- Bouniols A. , Puech J., Herman M., Salvy J., et Mondies M. 1979. Caractéristique de la production fructifère chez le soja (*Glycine max.* L. Merrill)-III Chronologie et localisation de l'avortement ou de la chute des organes fructifères. C.R. 104<sup>e</sup> Cong. ; Nat. Soc. Sav. Bordeaux, 1979, II : 203 - 212.
- Cheftel J. C., Cuq J. L. et Lorient D., 1985. Protéines alimentaires. In : Biochimie – Propriétés fonctionnelles – Valeur nutritionnelle – Modification chimique. Technique et Documentation - Lavoisier, Paris, 156 -192.
- Gwata E.T., Wofford D.S., Boote K. J. and Mushoriwa H. 2003. Interaction of genetic elements in the higher plants species and rhizobia. No standardized, efficient African Journal of Biotechnology Vol. 2, (11): 417- 420.
- Mulongoy K., 2005. Biological nitrogen fixation. Technical paper 2, South Dakota State University. Plant Science Department; 13 p.
- N'Cho B. S. 1991: Modélisation de l'accès des racines de maïs (*Zea mays*) à l'azote. Expérimentation au champ au centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de DIAT-ESAT, Montpellier 22 p.
- Nutman P. S. 1975. Rhizobium in the soil, In: Soil Microbiology. A Critical Review (N. Walker, ed.). Butter Worths, London, 111-113.
- Nzabi A.W., Makini F. Mutai E. Gesare M. and Mgwagi G. 2000. Influence of indigenous and introduced rhizobia strains on soybean grain yield in South West Kenya. Kenya Agricultural Research Center, Kisii, 7 p.
- Puech J. et Bouniols A. 1986. Floraison, fructification et composantes du rendement du soja : réflexion pour l'obtention de hauts rendements. INRA-Toulouse, 58-71.
- Vitosh M. L. 1997. Soybean Inoculation In Michigan. Department of Crop and Soil. Sciences. Michigan State University. Soybean Facts Winter 1997, 4 p.
- Yen T. T. 2004. Response to benefits of rhizobial inoculation in the South of Vietnam. Oil Plant Institute of Vietnam, 171-175.