

# Science **et** technique

Revue burkinabè de la recherche

## *Sciences naturelles et appliquées*

---

Spécial hors-série n° 4 — Janvier 2018 — ISSN 1011-6028

---

**Symposium International sur la Science et la Technologie**  
**04 au 08 décembre 2017, Ouagadougou**



**Centre national de la recherche scientifique et technologique**  
**03 B.P. 7047 Ouagadougou 03 – Burkina Faso**

# Science et technique

Revue semestrielle de la recherche  
du **Centre National de la Recherche  
Scientifique et Technologique (CNRST)**

-----  
**Série Sciences naturelles et appliquées**  
**Spécial hors-série n° 4 - Janvier 2018**

Prix : 3 000 F CFA



**Directeur de publication**

NEBIE Roger Honorat Charles, Délégué général du CNRST

**Coordonnateur**

TRAORÉ Amadou, Maître de recherche

**Rédacteur en chef**

BALIMA/DAMA Mariam, PARE Annick

**Comité de rédaction**

BALIMA/DAMA Mariam, SANON Hadja Oumou, NANEMA Emmanuel, OUEDRAOGO K. Stéphane, PARE Annick

**Secrétariat de rédaction**

TRAORÉ Hamed S., KABORÉ Moustapha

**Maquette et mise en pages**

ZABRÉ Haoua et KABORÉ Annick G.

**Comité Scientifique du Symposium International sur la Science et la Technologie (SIST 2017)**

BATIONO Babou André, Maître de Recherche en Biologie et Ecologie végétales

BOUSSIM Issaka Joseph, Professeur titulaire en Botanique et Ecologie

DICKO H. Mamoudou, Professeur titulaire en Biochimie

GISSOU Innocent Pierre, Professeur titulaire en Pharmacie-Toxicologie

KABORE P. Daniel, Maître de recherche en économie

KABORE/SAWADOGO Séréphine, Chargée de recherche en Télédétection

KIBORA Ludovic, Maître de recherche en Anthropologie, Ethnologie

KINI Félix, Maître de recherche en Chimie organique

KORAHIRE Joël A, Chargé de recherche en Economie

NANEMA Emmanuel, Maître de Recherche en Energie solaire

NEBIE Roger Ch. H., Directeur de Recherche en Chimie organique

NIKIEMA Michel, Docteur en Science de la météorologie et du climat

OUEDRAOGO Jean Bosco, Directeur de recherche en parasitologie médicale

OUEDRAOGO Moussa, Docteur en Génétique Forestière

OUEDRAOGO Souleymane, Maître de recherche en Agro-économie

OUEDRAOGO Sylvain, Directeur de recherche en Pharmacologie

SANOGO Oumar, Maître de Recherche en Physique

SANON Hadja Oumou, Maître de Recherche en Productions animales

SAWADOGO Louis, Directeur de recherche en Biologie et Ecologie végétales

SAWADOGO/LINGANI Hagrétou, Maître de recherche en Biologie/Microbiologie

SEDOGO P. Michel, Directeur de Recherche en Agropédologie

SEREME Paco, Directeur de Recherche en Phytopathologie

SOMDA Irénée, Professeur titulaire en Phytopathologie

SOME Issa, Maître de Conférences Agrégé en Chimie

SOME Léopold, Directeur de Recherche en Agroclimatologie

TOGUYENI Aboubacar, Professeur titulaire en Agronomie/Biologie

TRAORE Hamidou, Maître de Recherche en Malherbologie

YAMEOGO Georges, Maître de recherche en Agroforesterie

ZIDA Didier, Chargé de Recherche en Ecologie végétale

### **Comité scientifique de la série**

Pr Guinko Sita  
Pr Sawadogo Laya  
Pr Zongo Jean Didier  
Pr Assa Ayénou  
Pr Foua-Bi Kouahou  
Pr Ba Tidiane  
Pr Gouro Abdoulaye  
Pr Nenon Jean Pierre  
Pr Sissoko Grégoire  
Pr Jacobs Michel  
Pr Bourarach El Hassan  
Dr Le Coq Hervé  
Dr Konaté Gnissa  
Dr Kaboré Z Issiaka  
Dr P Michel Sédogo  
Dr Diawara Bréhima  
Dr Nébié Ch. H. Roger

Professeur titulaire, Université de Ouagadougou, Burkina Faso  
Professeur titulaire, Université de Ouagadougou, Burkina Faso  
Professeur titulaire, Université de Ouagadougou, Burkina Faso  
Professeur titulaire, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire  
Professeur titulaire, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire  
Professeur titulaire, Université Cheick Anta Diop, Dakar, Sénégal  
Professeur titulaire, Université de Niamey, Niger  
Professeur titulaire, Université de Rennes I, France  
Professeur titulaire, Université Cheick Anta Diop de Dakar  
Professeur titulaire, Université Libre de Bruxelles, Belgique  
Professeur titulaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc  
INRA, Montfavet, France  
Directeur de Recherche CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso  
Directeur de recherches CNRST, Burkina Faso  
Directeur de recherches, CNRST, Burkina Faso  
Directeur de recherches, CNRST, Burkina Faso  
Directeur de Recherches, CNRST, Burkina Faso

### **Comité de lecture de la série**

Dr Séréme Abdoulaye ,  
Dr Nébié H Ch. Roger  
Dr Sanogo Oumar  
Dr Ganou Léguet  
Dr Sawadogo/ Lingani Hagrétou  
Dr Son Gouyahali  
Dr Diawara Bréhima  
Dr Sanon Amadou  
Dr Wereme Alhadi  
Dr Traoré M. Yves  
Dr Zougmore Robert  
Dr Taonda S. Jean-Baptiste  
Dr Bayala Jules  
Dr Kaboré K. Blaise  
Dr Tamboura H. Hamidou  
Dr Compaoré Emmanuel  
Dr Rouamba Albert  
Pr Dicko Hama Mamadou  
Dr Ba Malick  
Dr Traoré Oumar  
Dr Sawadogo Louis  
Dr Kagoné Hamadé  
Dr Zagré M'Bi Bertin  
Dr Traoré Amadou  
Dr Traoré Hamidou  
Pr Thiombiano Adjima  
Dr El Hadj Gueye Fallou

Maître de recherches, Biologie et Ecologie végétale  
Directeur de Recherche en Chimie organique  
Maître de recherches, en Physique/Energétique  
Chargé de recherches, sciences agroalimentaires  
Maître de recherches, Biochimie/microbiologie  
Maître de recherches, mécanisation  
Directeur de recherches, microbiologie  
Chargé de recherches, physique  
Directeur de Recherche, Physique  
Chargé de recherches en Physique/Energie solaire,  
Chargé de Recherche, Agropédologie  
Maître de Recherche, Agronomie  
Directeur de Recherche, Agroforesterie  
Chargé de Recherche, Pathologie  
Directeur de Recherche, Physiologie et Santé Animale  
Maître de Recherche, Agrochimie  
Maître de Recherche, Génétique végétale  
Professeur titulaire, Biochimie-Biotechnologie  
Maître de Recherche, Entomologie  
Directeur de Recherche, Virologie-Biotechnologie  
Directeur de Recherche, Sylvo-pastoralisme  
Chargé de Recherche, Pastoralisme  
Maître de Recherche, Génétique végétale  
Maître de Recherche, Génétique animale  
Maître de Recherche, Malherbologie  
Professeur titulaire, Botanique-Ecologie végétale  
PhD, Aviculture

### **Abonnement - Distribution**

DIST/DGA-V, 03 B.P. 7047 Ouagadougou 03

### **Rédaction et administration**

Comité de rédaction, INERA 03 B.P. 8645 Ouagadougou 03 Burkina Faso ;  
Tél : (00226) 25 34 02 70/ 25 34 71 12 ; Email : inera.direction@fasonet.bf

### **Tirage**

Numéro tiré à 250 exemplaires

# Sommaire

**COMPAORE A., SANOGO O., IGO S., ZIMBA D., SAMA D. L.**

Etude expérimentale des performances d'un réfrigérateur solaire photovoltaïque à compression .....13

**ADJAHOSSOU S. G. C., HOUEHANOU D. T., TOYI M., TENTE B., HOUINATO M., SINSIN B.**

Degré de pression et perception endogène de multiplication et de conservation du genre *Isoberlinia* au Moyen-Bénin (Afrique de l'Ouest) .....25

**AKOKPONHOUE H. B., YALO N., YOUAN T. M., LASM T., AGBAHUNGBA G.**

Contribution de la Télédétection, des SIG et de l'analyse multicritère dans la cartographie des eaux souterraines en milieu fracturé : cas du département de la Donga (Nord-Ouest Bénin) .....39

**BACO M. N., ADECHIAN S. A., HOUNDJÈ D., IDRISOU L., ABOUDOULAYE T.**

Dynamiques de la production et de la consommation du maïs, du Sorgho et de l'igname dans le Nord Bénin : entre sécurité alimentaire et valorisation marchande .....49

**THIO B., KIEMDE S.**

Effets du changement climatique sur la relation plante/nématode .....65

**AHONON B. A., TRAORE H. et IPOU J. I.**

Techniques culturales et contraintes liées à la production du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans la Région du Moronou au Centre-Est de la Côte d'Ivoire .....79

**CHAFFRA S., LOUGBEGNON T., VERMEULEN C.**

Habitat écologique et distribution spatiale des abondances des mammifères carnivores à partir des cameras trap dans la Réserve de la Pendjari au Bénin .....91

**ADAMON D. G. F., BENSAKHRIA A., FAGBÉMI L. A., SANYA E. A.**

Kinetic Study of Gasification Reactions of Corncobs Char from Benin .....107

**ALY D., SALAMI H. A., YALLOU C. G., ADJANOHOUN A., BABA-MOUSSA L.**

Gestion de la biodiversité des variétés cultivées de maïs au Bénin .....121

**KABORE D., SAWADOGO L., SERME M., PARE A., ZONGO S., OUEDRAOGO O., COMPAORE E. R., SAWADOGO-LINGANI H.**

Impact du four Qualigrille sur la qualité de la viande grillée .....133

**El Hadji LEYE M., DIOP M., NDOUR A., SALL M., BADIANE NDOUR N. Y.**

Évaluation d'un paquet de technologies agricoles pour adapter les systèmes de culture face aux aléas dans deux zones climatiques du Sénégal .....145

**BOUSSARI F. A. A., LOUGBEGNON T.**

Analyse des associations phytosociologiques autour des zoolites dans le Bénin méridional (Sud de la dépression de la Lama) .....157

**GOMGNIMBOU A. P. K., COULIBALY K., KIENDREBEOGO T., OUATTARA S., SANON A., NACRO B. H., SEDOGO P. M.**

Effets de la fumure de porcins sur les paramètres de rendement du maïs et quelques propriétés chimiques d'un sol faiblement ferrallitique .....175

<b>COMPAORE H., SAMANDOULGOU Y., YAMEOGO J., ZOUNDI J. S., KABORÉ-ZOUNGRANA C.</b>	
Empreinte de l'utilisation pastorale sur les ligneux des forêts sacrées : cas de Nzoa à Koupéla dans le Centre Ouest du Burkina Faso .....	187
<b>AMADOU H., SANOGO K., CISSE F., YATTARA K.</b>	
Potentiel d'adaptation des variétés de riz à la variabilité climatique et estimation du stock de carbone aérien des espèces végétales en riziculture pluviale au Mali .....	199
<b>HEKPAZO B. P. M., HONDI K. A., HOUESSIONON M. G. K., ASSABA M., VISSIN W. E.</b>	
Analyse de la gestion des ouvrages hydrauliques dans la commune de Comé (Bénin) .....	215
<b>ZINGA I., YONGO O. D., SEMBALLA S., TOUKIA I. G., KAMBA E., KONGUERE E., MVILA A., BAGOFOU KOUNGA Y. A., PABAMÉ N. S. S., TCHUANYO M., ONDO BINDANG C., POUNABA N., ZANGO A. V., NAMKOSSERENA S. and MOULIOM PEFOURA A.</b>	
Detection and geographical distribution of cassava begomoviruses in the six countries of Economic and Monetary Community of Central Africa.....	229
<b>SAWADOGO I., KI H., OUÉDRAOGO A. R., OUÉDRAOGO I. et NÉBIÉ R.</b>	
Efficacité en milieu paysan de trois bioinsecticides à base d'huiles essentielles en protection post-récolte du maïs .....	243
<b>ZINGA I., KOMBA E. K., ABA-TOUMNOU L., SILLA S., ZANGO A. V., BALLOT C. S. A., SOUKPE D. R. L., MARABENA B. K. T., YANDIA P. S., ELIAN H. D. B., OUANTINAM S. F. B., BI A. Z., YONGO O. D. et LETT J. M.</b>	
Influence du niébé et de l'arachide sur l'expression de la mosaïque et la production du manioc en République Centrafricaine .....	251
<b>TIENDREBEOGO J., SAWADOGO N., KIEBRE M., KABORE B., BATIONO/KANDO P., KIENDREBEOGO T., OUEDRAOGO M. H., SAWADOGO M.</b>	
Évaluation comparative de la production de grains et du fourrage de sorgho à grains sucrés du Burkina Faso .....	261
<b>COULIBALY K., GOMGNIMBOU A. P. K., TRAORÉ M., SANON J. F. K., NACRO H. B.</b>	
Effets de l'agriculture de conservation sur la dynamique de l'eau et le stock de carbone d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso .....	273
<b>DOUTHE K., AZOUMA O. Y.</b>	
Analyse du Cycle de Vie : une initiative pour la maîtrise totale des impacts environnementaux des entreprises agroalimentaires dans l'espace de l'union économique et monétaire ouest-africaine .....	283
<b>KOUASSI N. J., N'GUETTIA M. Y., KOFFI A. M. H.</b>	
Influence de la zone de collecte sur les performances agronomiques de quelques variétés de niébé ( <i>Vigna unguiculata</i> ) cultivées dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire .....	297
<b>YAMEOGO K., GUIRA M., OUOBA P., TARPAGA V., KIEMA S., ROUAMBA A.</b>	
Évaluation de la productivité de l'anacardier dans la Région des Cascades au Burkina Faso .....	307
<b>AYEDEGUE L. U., ADEGBOLA P. Y., YABI A. J.</b>	
Efficacité technique d'utilisation des ressources en eau et les déterminants : cas des périmètres rizières irrigués du Bénin .....	319
<b>MANO E., DIONOU A.K. et YAO K.P.</b>	
Efficacité biologique d'extraits d'ail, de neem et de moringa contre <i>Plutella xylostella</i> , <i>Hellula undalis</i> et <i>Lipaphis erysimi</i> du chou dans l'Ouest du Burkina Faso .....	333

<b>AGUEGUE M.R., ADJANOHOON A., ADEGBOLA P.Y., DJINADOU-IGUÉ K.A., KOUDANDÉ O.D. et MENSAH G.A.</b> Effet de la densité de semis et de la fumure minérale sur la productivité de <i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) Urban cultivé sur sol ferrallitique dégradé au Sud-Bénin .....	343
<b>HEMA M.D., BIGUEZETON A. TOURE A., KONATE A., KONE M., ZOUNGRANA S., NEBIE C.H.R.</b> Activité acaricide des extraits hexaniques et des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques acclimatées au Burkina Faso, sur la tique <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i> .....	353
<b>DAMBA M.M., SANFO S., SALACK S., WOROU O.N., THIOMBIANO N., TONDOH E.J., SAVADOGO K.</b> Information pluviométrique et choix des stratégies d'adaptation aux changements climatiques au Nord du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest.....	363
<b>DAOUD M.B., TRAORÉ H., PALÉ S., ZOMBRÉ N.P.</b> Perception paysanne de l'infestation de striga sur la production céréalière dans la région du Chari-Baguirmi au Tchad .....	381
<b>AGBODJATO A.N., NOUMAVO A.P., AMOGO O., ADOKO M., DAGBENONBAKIN G., FALCON RODRIGUEZ A., De la NOVAL PONS M. B., ADJANOHOON A., BABA-MOUSSA L.</b> Impact de l'utilisation des Rhizobactéries Promotrices de la Croissance des Plantes (PGPR) en combinaison avec le chitosane sur la croissance et le rendement du maïs ( <i>Zea mays</i> L.) sur sol ferrallitique au Sud-Bénin .....	395
<b>NEYA O., SACANDE M. and HOEKSTRA A.F.</b> Coat-imposed constraint induces variability in <i>lannea microcarpa</i> seed germination .....	409
<b>BIAOU D.P., AYEDEGUE P.D., AIHOUNTON D.B.G., YABI A.J.</b> Systèmes de cultures et gestion technique et financière en production de tomate au Nord-Est du Bénin : cas de la saison sèche dans les communes de Malanville Bembéréké et Parakou.....	421
<b>TOKORE OROU MERE S.B.J., BATAMOSSI HERMANN M., ESSEGNON M.I., DEGBEVI T.K.</b> Etude comparée de la fertilisation à base d'urée et biologique sur la productivité de l'amarante dans la commune de Parakou au Nord-Bénin .....	437
<b>TOKORE OROU MERE S.B.J., BATAMOSSI HERMANN M., AMANOUDO M.-J., MOUSSA I.</b> Contribution à l'amélioration des pratiques de production de l'anacardier dans le département du Borgou au Nord-Bénin.....	445
<b>MESELE S.A., AMEGHASHIE B., MELENYA C. and QUANSAH C.</b> Soil nutrients and organic matter losses and its prevention on smallholder farms .....	453
<b>SANDWIDI A., DIALLO B.O., SAWADOGO M.</b> Caractérisation morphologique de cinq écotypes du karité dans un essai de provenances au Burkina Faso .....	465
<b>SOAGA J.A., KOLADE V.O. and JOSEPH M.D.</b> Land use types, habitat destruction and biodiversity loss in Egba division of Ogun state, Nigeria ..	479
<b>TRAORE C.G.L., GNANDA B.I., TAMBOURA H.H., OUEDRAOGO A.</b> Valorisation d'un aliment composé d'embouche ovine en zone périurbaine de Ouagadougou : cas de l'aliment SOFAB .....	491

<b>VODOUNOU G.K., LOUGBEGNON O.T. et BOGAERT J.</b> Caractérisation du système de production apicole et utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) comme base de cartographie pour la gestion durable des ruches et des périmètres mellifères au centre du Bénin .....	503
<b>YAO K.P., KABLAN D.C., TOURE A., BIGUEZOTON A., KONAN K.E., ALLA D.A., COURTIN F., ZOUNGRANA S., YAPI C.V.</b> Distribution de la tique invasive du bétail <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i> en Afrique de l'Ouest, moins d'une décennie après sa première mise en évidence .....	519
<b>BAMBA Y., DOUMBIA L., OUATTARA A., DA COSTA KOUASSI S. et GOURÈNE G.</b> Effets d'alimentation à base de différentes sources de protéine végétale en combinaison avec la pelure de cacao, peau d'arachide et tourteau de coprah sur les performances de croissance du <i>tilapia Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758) .....	531
<b>OUEDRAOGO N., SANOU J., TRAORE H., KAM H., ADAMS M., GRACEN V. et TONGOONA P.</b> Identification des markers SSRs associés au caractère "stay-green" dans des recombinants issus de rétrocroisements .....	545
<b>AHOYO C.C., MAMA SAMBO IMOROU I., HOUEHANOU D.T., YAOITCHA S.A., HOUINATO R.B.M., SINSIN A.B.</b> De l'ethnomédecine à l'ethnopharmacologie vétérinaire et la conservation d'espèces ligneuses au Bénin : application raisonnée d'outils quantitatifs .....	559

# Impact de l'utilisation des Rhizobactéries Promotrices de la Croissance des Plantes (PGPR) en combinaison avec le chitosane sur la croissance et le rendement du maïs (*Zea mays* L.) sur sol ferrallitique au Sud-Bénin

---

AGBODJATO A.N.<sup>1</sup>, NOUMAVO A.P.<sup>1,2</sup>, AMOGO O.<sup>1</sup>,  
ADOKO M.<sup>1</sup>, DAGBENONBAKIN G.<sup>3</sup>, FALCON RODRIGUEZ A.<sup>4</sup>,  
De la NOVAL PONS M. B.<sup>4</sup>, ADJANOHOUN A.<sup>5</sup>, BABA-MOUSSA L.<sup>1\*</sup>

## Résumé

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'effet combiné des PGPR et du chitosane sur la croissance et le rendement du maïs sur sol ferrallitique au Sud-Bénin. Pour ce faire, deux graines de maïs préalablement traitées au chitosane pendant 12 h furent introduites dans un poquet et inoculées avec 10 ml de suspension bactérienne. Le dispositif expérimental était un bloc aléatoire complet de neuf traitements avec trois répétitions. Les données relatives aux différents paramètres ont été collectées tous les quinze jours. Les résultats montrent que le traitement *Pseudomonas fluorescens* + chitosane + 50 % NPK, a donné les meilleurs résultats concernant la hauteur, le diamètre et la surface foliaire avec des augmentations respectives de 29,01 %, 26,52 % et de 27,29 % par rapport au contrôle. D'autre part, les plants inoculés avec la combinaison de *P. putida* + chitosane + 50 % NPK ont donné les valeurs les plus élevées de biomasse sèche aérienne et de rendement en grains et avec des augmentations respectives de 30,96 % et de 37,63 % du contrôle. Ces résultats augurent la possibilité d'utiliser ces bioproduits comme des fertilisants biologiques pour accroître le rendement du maïs au Bénin.

**Mots-clés :** Rhizobactéries, Chitosane, Maïs, Croissance, Rendement, Bénin.

---

<sup>1</sup> Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie ; Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire/FAST/UAC ; Email: laminesaid@yahoo.fr Tel: + (229) 97123468.

<sup>2</sup> Laboratoire de Microbiologie et des Technologies Alimentaires, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 04 BP 1107 Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup> Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Bénin.

<sup>4</sup> Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, MES, Cuba.

<sup>5</sup> Centre de Recherches Agricoles Sud, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin ; Email : adjanahouna@yahoo.fr, Tél : + (229) 90029816 ; BP 03 Attogon, Bénin.

\*Auteur correspondant : BABA-MOUSSA Lamine, Email: laminesaid@yahoo.fr

# Impact of the use of the Rhizobacteria Promoting of the Growth of the Plants (PGPR) in combination with the chitosane on the growth and the output of the corn (*Zea L. mays*) on ferralitic soil in the South-Benin

## Abstract

The objective of the study was to evaluate the combined effect of PGPR and chitosan on the growth and yield of maize on ferralitic soil in southern Benin. To do this, two maize seeds previously treated with chitosan for twelve hours were introduced into a pouch and inoculated with 10 ml of bacterial suspension. The experimental setup was a complete random block of nine treatments with three repetitions. The data relating to the different parameters were collected every fifteen days. The results show that the treatment *Pseudomonas fluorescens* + chitosan + 50% NPK, gave the best results concerning the height, the diameter and the leaf area with respective increases of 29.01%; 26.52% and 27.29% compared to control. On the other hand, plants inoculated with the combination of *P. putida* + chitosan + 50% NPK gave the highest values of aerial dry biomass and grain yield and with increases of 30.96% and 37.9% respectively of the control. These results augur the possibility of using these bioproducts as organic fertilizers to increase maize yield in Benin.

**Keywords:** Rhizobacteria, Chitosan, Maize, Growth, Yield, Benin.

## Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des graminées les plus cultivées dans le monde (Claudia, 2000). Au Bénin, il est la principale céréale intervenant dans l'alimentation des populations. (INRAB, 2011). En effet, la production du maïs est confrontée à de nombreuses contraintes parmi lesquelles la baisse de la fertilité des sols occupe une place prépondérante (Badu et Yallou, 2009). De plus, la production du maïs de manière à assurer la sécurité alimentaire et des revenus substantiels aux producteurs, reste encore tributaire de l'utilisation intensive des engrais minéraux. Cette approche n'est pas sans conséquences négatives sur l'environnement et mieux sur la santé humaine. Du fait de l'utilisation intensive des engrais minéraux, les précipitations peuvent drainer ces derniers vers les rivières, les lacs et les cours d'eau où ils constituent une source potentielle de pollution environnementale (Alalaoui, 2007). Sur la base de ce constat, il nous faudra des produits d'origine naturelle, non polluants et en mesure de remplacer les produits actuellement en usage. Pour ce faire, l'usage des produits biologiques partant des rhizobactéries promotrices de croissance végétative des plantes (en anglais Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)) en combinaison avec le chitosane, un bioproduit naturel connu pour ses potentialités agricoles serait un atout majeur pour améliorer la croissance et le rendement du maïs au Bénin.

En effet, les rhizobacteria PGPR permettent d'augmenter la croissance des plantes. Leurs métabolites secondaires présentent une source incontournable de composés divers, impliqués dans plusieurs domaines : industriel, médical et agricole (Donadio *et al.*, 2002). Elles offrent de ce fait des résultats attrayants de manière à remplacer les engrais minéraux, les pesticides (Jelin *et al.*, 2013) et contribuer ainsi à l'amélioration de la productivité des cultures notamment celle du maïs. Quant au chitosane, c'est un bioproduit dérivé de la chitine, un composé naturel, non toxique à l'homme, ni à l'environnement et aux animaux. La présence de chitosane comme fertilisant accélère la croissance des plantes et améliore le rendement des cultures (Ravi et Kumar, 2000).

Vue l'importance que présente les rhizobactéries PGPR, ainsi que le chitosane dans la productivité agricole, l'évaluation de l'effet combiné de ces derniers serait un atout majeur pour accroître la productivité du maïs au Bénin.

## I. Matériels et méthodes

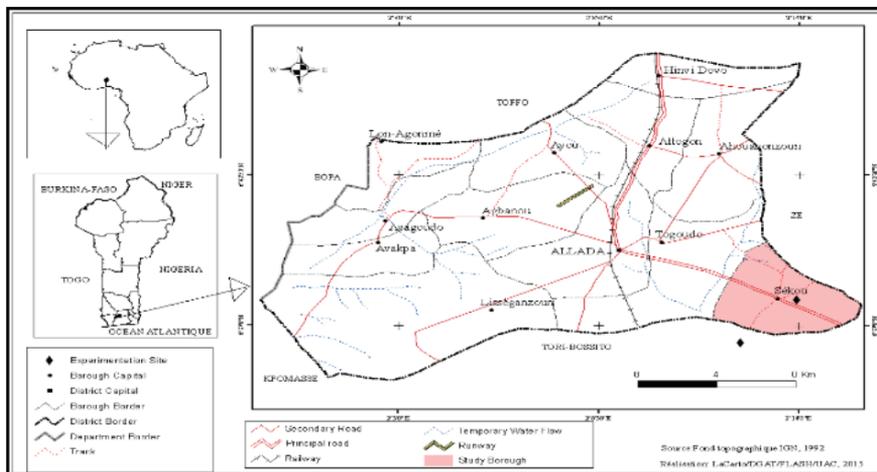
### 1.1. Milieu d'étude

L'étude a été conduite sur la station expérimentale du Centre de Recherche Agricole Sud (CRA-Sud) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), sis à Sékou (figure 1) dans la commune d'Allada. Le milieu d'étude bénéficie d'un climat de type subéquatorial avec deux saisons de pluie (une grande saison de Mars à Juin et une petite saison de Septembre à Novembre) et deux saisons sèches (de Juillet à Septembre puis de Novembre à Mars). La pluviométrie annuelle est comprise entre 800 et 1.000 mm (Afrique conseil, 2006). Il présente de faibles teneurs en éléments minéraux, d'où son très faible niveau de fertilité. Ces caractéristiques chimiques sont présentées dans le tableau I.

**Tableau I :** Caractéristiques chimiques du sol d'expérimentation

Sol	pH		C (%)	N (%)	C/N (%)	M.O	B.E (meq/100g)				CEC (meq/100g)	S.B (%)	
	Eau	Kcl					P.A (ppm/%)	Ca	Mg	K			Na
	5.3	4.6	0.99	0.089	11,33	1.710	5	1,66	0.97	0.11	0.09	4,96	59,33

C : Carbone, N : Azote ; M.O : Matière Organique ; P.A : Phosphore assimilable ; B.E : Bases Echangeables ; CEC : Capacité d'échange cationique, S.B : Saturation en Base. ppm : pourcentage pour mille ; méq : milliéquivalent



**Figure 1:** Localisation géographique de la zone d'expérimentation.

## 1.2. Matériel

- La variété de maïs EVDT 97 STR C1 a été utilisée au cours de l'expérimentation. Elle provient du Centre de Recherche Agricole Sud (CRA-Sud) de L'INRAB. Cette variété présente une bonne résistance à la rouille américaine, à la striure, à l'helminthosporiose, à la curvulariose et à la sécheresse (Yallou *et al.*, 2010a).
- Les trois souches de rhizobactéries utilisées sont *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonas fluorescens* et *Pseudomonas putida*. Elles ont été isolées et caractérisées dans les zones agroécologiques au sud-Bénin par Adjanohoun *et al.* (2011). Ces souches sont conservées au Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie (LBTMM) dans le bouillon Muller Hinton (MH) additionné de glycérol (10%) à -20°C.
- Le Chitosane utilisé est un bioproduit liquide de couleur blanchâtre dérivé de la chitine extraite des exosquelettes des langoustes. Il provient du Département de Physiologie et de Biochimie des légumes de l'Institut National des Sciences Agricoles de Cuba (Amérique Latine).

## 1.3. Méthodes d'étude

### 1.3.1. Evaluation des effets de la combinaison des PGPR et du chitosane sur la croissance et le rendement des plants de maïs

#### – Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué d'un bloc aléatoire complet de neuf traitements avec trois répétitions. Les différents traitements ont couvert chacun une parcelle élémentaire de 4 m x 3,2 m soit une superficie de 12,8 m<sup>2</sup>. Chaque parcelle élémentaire comportait 4 lignes de 4 m de long. Le semis était fait avec un écartement de 0,80 m x 0,40 m soit une densité de 31.250 plants/ha (Yallou *et al.*, 2010b). La distance entre les parcelles était de 1,8 m et entre les répétitions était de 2 m. Les données ont été collectées au niveau des deux lignes centrales soit une 6,4 m<sup>2</sup>. Les différents traitements étaient définis comme suit: T0 : Contrôle; T1 : Chitosane seul ; T2 : 100% NPK ; T3 : *Pseudomonas fluorescens* + chitosane ; T4 : *Pseudomonas putida* + chitosane ; T5 : *Azospirillum lipoferum* + chitosane ; T6 : *Pseudomonas fluorescens* + chitosane + 50 % NPK; T7 : *Pseudomonas putida* + chitosane + 50% NPK ; T8 : *Azospirillum lipoferum* + chitosane + 50% NPK.

#### – Préparation de la solution du chitosane

Le chitosane utilisé a une concentration initiale de 4 g/l pour un volume de 200 ml. Pour son application, il a été dilué au 1/10 de sa concentration initiale, soit 0,4 g/l. Les graines de maïs ont été trempées dans la solution diluée pendant 12 h avant le semis.

#### – Préparation des suspensions de PGPR

Les trois PGPR précédemment conservées ont été revivifiées par repiquage sur milieux gélosés pendant 24 h (King B pour les *Pseudomonas* à 30°C, Gélose Nutritive pour *Azospirillum lipoferum* à 37°C). Les suspensions bactériennes de PGPR ont été obtenues par culture en milieu nutritif (MH liquide) pendant 24 h à 30°C pour les *Pseudomonas* et à 37°C pour *Azospirillum lipoferum*. Après les 24 h d'incubation, les cultures ont ensuite été ajustées à une concentration microbienne d'environ 1 x 10<sup>8</sup> UFC/ml (DO 0,45 à 610 nm) avec un spectrophotomètre selon la méthode décrit par Govindappa *et al.* (2011).

### – Semis et inoculation des graines de maïs

Après l'ouverture des poquets d'environ 5 cm de profondeur, deux graines de maïs précédemment traitées au chitosane y ont été déposées. Ensuite en fonction de chaque traitement, les graines ont été inoculées avec 10 ml de suspension bactérienne (figure 2) et le poquet a été aussitôt refermé.



Figure 2 : Semis et inoculation des graines de maïs

### 1.3.2. Collecte des données pour les paramètres de croissance et de rendement

#### – Paramètres de croissance

Les paramètres de croissance tels que la hauteur et le diamètre au collet ont été mesurés du 15<sup>e</sup> au 60<sup>e</sup> jours Après Semis (JAS). La hauteur et le diamètre ont été respectivement lus à l'aide d'un mètre ruban et du pied à coulisse. La surface foliaire a été déterminée au 60<sup>e</sup> JAS. Elle a été estimée par le produit de la longueur et de largeur affectée du coefficient 0,75 (Ruget, 1996).

#### – Paramètre de rendement

##### – Détermination de la biomasse sèche produite par les plants de maïs

La biomasse produite a été déterminée à la récolte. Ainsi, six plants ont été arrachés par parcelle élémentaire et découpés en de petits morceaux puis mélangé dans un sac. Le mélange a été mis dans une enveloppe étiquetée puis introduit dans une étuve à 65°C pendant 72 h. Dans le but de déterminer le rendement en biomasse sèche, l'échantillon a été ensuite retiré de l'étuve, pesé et introduit à nouveau à l'étuve jusqu'à stabilisation complète de la masse des échantillons. Ils ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance de précision.

##### – Détermination du rendement en grains

Les épis des six plants de maïs précédemment récoltés ont été égrenés. A l'aide de l'humidimètre (LDS-1F), le taux d'humidité a été mesuré sur les grains et ces derniers ont été pesés à l'aide d'une balance (Highland HCB 302, Max: 3001 g) de précision 0,1 g. Les valeurs de rendement en maïs grains ont été obtenues par la formule ci-après utilisée par Valdés *et al.* (2013) :

$$R = \frac{P \times 10.000}{S \times 1.000} \times \frac{(14\%)}{H}$$

Où : R est le rendement du maïs, exprimé en T/ha; P est la masse du maïs par superficie élémentaire de calcul, exprimé en kg ; S est la superficie de la parcelle utile en m<sup>2</sup> ; H est le taux d'humidité des grains, en %.

### 1.3.3. Analyses statistiques des données

Le logiciel R (version 2.15.3) a été utilisé pour l'analyse de variance des données. Les valeurs des paramètres de croissance et de rendement ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), d'un modèle mixte à deux facteurs (répétitions et traitement) avec interaction afin d'apprécier l'effet des traitements sur les données collectées. Une structuration des moyennes a été faite, ce qui nous a permis de comparer les traitements et d'identifier le traitement le plus influant sur les différentes données grâce au test de Student Newman et Keuls (SNK) au seuil de 5 %.

## II. Résultats

### 2.1. Caractéristique chimique du sol

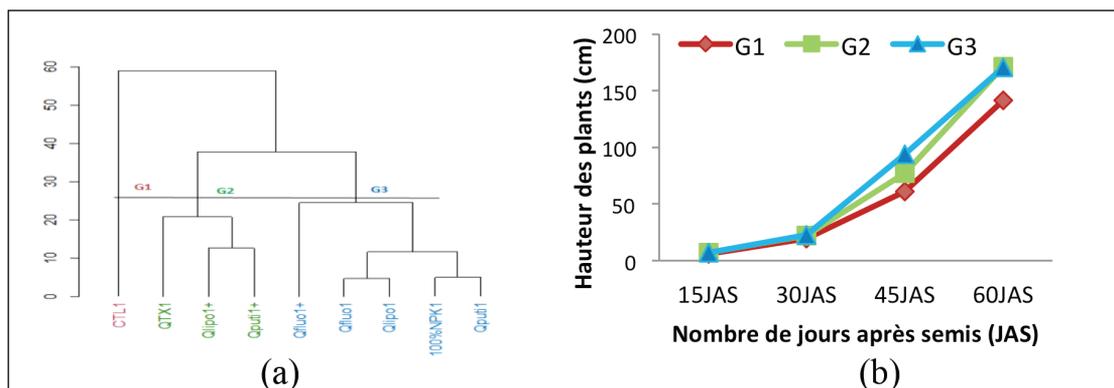
Le tableau I présente les caractéristiques chimiques du sol d'expérimentation. De ce tableau, il ressort que le sol est acide et moyennement pauvre. En effet, le taux en matière organique (1,7%) est très faible de même que celui du carbone organique (0,99 %). La somme des bases échangeables est de 2,83 méq/100 g de sol, la capacité d'échange cationique du sol est de 4,96 méq et la saturation en bases est de 46 %. Ces valeurs sont trop faibles en comparaison avec les valeurs d'un sol nouvellement défriché dans la même commune d'étude (Adjanohoun *et al.*, 2011).

### 2.2. Effet de la combinaison des PGPR et du chitosane sur les paramètres de croissance des plants de maïs

#### – Hauteur des plants de maïs

La classification numérique appliquée aux traitements a donné le dendrogramme de la figure 3a. On y note que la partition des neuf traitements en trois groupes de traitements a donné un niveau de similarité entre les traitements d'un même groupe, ce qui est largement suffisant pour valider cette analyse. Les différents groupes de traitements sont: Le groupe G1 constitué uniquement du « Contrôle » (ni bactérie, ni chitosane, ni engrais minéraux) ; Le groupe G2 composé de trois traitements : « chitosane seul ; *A. lipoferum* + chitosane + 50 % NPK et *P. putida* + chitosane + 50 % NPK » ; Le groupe G3 composé de cinq traitements: « *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK ; *P. fluorescens* + chitosane ; *A. lipoferum* + chitosane; 100 % NPK et *P. putida* + chitosane ».

L'évolution dans le temps de la hauteur des plants de maïs en fonction des groupes a indiqué une croissance relativement rapide des plants soumis aux traitements du groupe G3 (Figure 3b). En effet, dans ce groupe, la hauteur la plus élevée a été obtenue sur les plants traités avec *P. fluorescens* + chitosane + 50% NPK soit une augmentation de 29,01% du contrôle (groupe G1). Les plants du groupe G1 (Contrôle) ont présenté la plus faible performance par rapport à tous les traitements. Les résultats d'analyse de la variance (tableau II) ont indiqué une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre tous les niveaux de facteurs ainsi que leurs interactions.



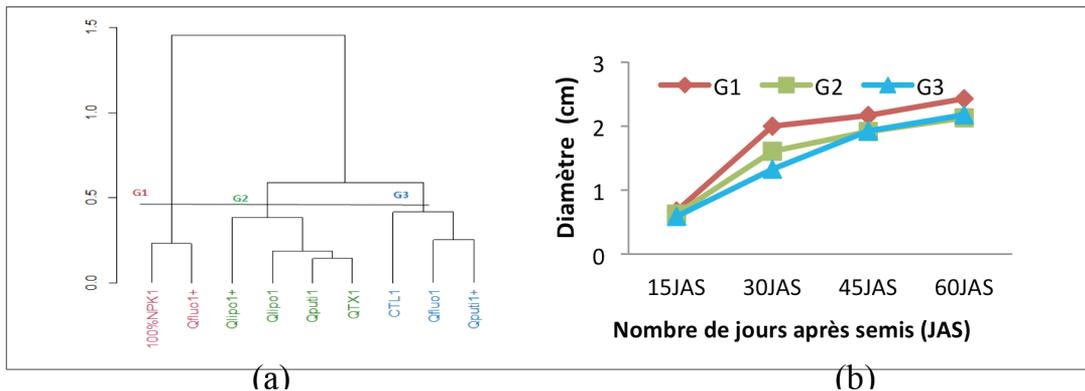
**Figure 3: (a):** Regroupement des 9 traitements en fonction de leurs effets sur la hauteur ; **(b) :** Tendance évolutive de la hauteur en fonction du nombre de jours.

CTL: contrôle; QTX: chitosane seul; 100% NPK: 100% d'engrais minéraux; QFluo: *P. fluorescens* + chitosane; QPuti: *P. putida* + chitosane; QLipo: *A. lipoferum* + chitosane; QFluo + 50% NPK: *P. fluorescens* + chitosane + 50% NPK; QPuti + 50% NPK: *P. putida* + chitosane + 50 % NPK; QLipo + 50% NPK: *A. lipoferum* + chitosane + 50% NPK

### – Diamètre au collet des plants de maïs

La classification numérique appliquée aux traitements a donné le dendrogramme de la figure 4a. On y note que la répartition des neuf traitements en trois groupes de traitement a donné un niveau de similarité entre les traitements d'un même groupe ce qui est largement suffisant pour valider cette analyse. Les différents groupes de traitements sont : Le groupe G1 constitué de deux traitements: « 100 % NPK et *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK » ; Le groupe G2 composé de quatre traitements : « *A. lipoferum* + chitosane + 50 % NPK; *A. lipoferum* + chitosane ; *P. putida* + chitosane et chitosane seul »; Le groupe G3 composé de trois traitements : « Contrôle ; *P. fluorescens* + chitosane et *P. putida* + chitosane + 50 % NPK ».

L'évolution dans le temps du diamètre au collet des plants de maïs a indiqué une croissance relativement rapide des plants soumis aux traitements du groupe G1 par rapport aux autres groupes avec en tête l'application de *P. fluorescens* + chitosane + 50% NPK soit une augmentation de 26,52 % du contrôle (groupe G3) (figure 4b). Les plants de maïs, soumis aux traitements du groupe G3 ont présenté les plus faibles performances en diamètre au collet des plants. Les résultats d'analyse de la variance sur mesures répétées (tableau II) ont indiqué une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre tous les niveaux de facteurs ainsi que leurs interactions. De même, l'effet du temps sur la différence entre les niveaux de facteur a été très hautement significatif pour les deux paramètres ( $p < 0,001$ ) (tableau II).



**Figure 4 :** (a) : Regroupement des 9 traitements en fonction de leurs effets sur le diamètre; (b) : Tendance évolutive du diamètre en fonction du nombre de jours.

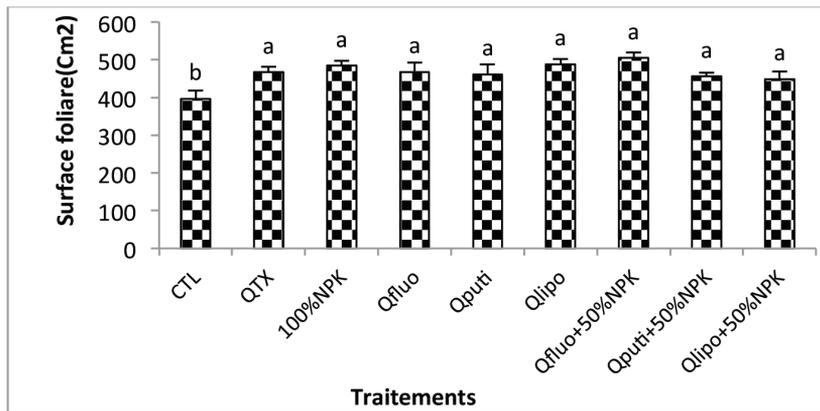
CTL: contrôle; QTX: chitosane ; 100%NPK: 100% d'engrais minéraux ; QFluo: *P. fluorescens* + chitosane; QPuti: *P. putida* + chitosane; QLipo: *A. lipoferum* + chitosane; QFluo + 50% NPK: *P. fluorescens* + chitosane + 50% NPK; QPuti + 50% NPK: *P. putida* + chitosane + 50% NPK; QLipo + 50% NPK: *A. lipoferum* + chitosane + 50% NPK.

**Tableau II :** Résultats d'analyse de variance sur mesures répétées pour la hauteur et le diamètre au collet des plants

Source	DDL	Hauteur des plants		Diamètre des plants	
		F	Pr>F	F	Pr>F
Temps (T)	3	6482,8051	0,000	597,6140	0,000
Traitements (Tr)	8	21,8579	0,000	10,0658	0,000
Repetitions(R)	2	2,0347	0,1391	0,1838	0,832578
TxTr	24	7,3815	0,000	2,3104	0,004135
TxR	6	0,5100	0,7986	0,5909	0,736402

#### – Surface foliaire des plants de maïs au 60<sup>e</sup> JAS

La figure 5 montre la surface foliaire des plants de maïs en fonction des différents traitements. Les plus grandes valeurs ont été obtenues sur les plants traités avec *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK (504,89 cm<sup>2</sup>) suivies de *A. lipoferum* + chitosane (488,44 cm<sup>2</sup>) avec des augmentations respectives de 27,29 % et de 23,15% par rapport au contrôle (396,62 cm<sup>2</sup>). Une différence très hautement significative entre les traitements en ce qui concerne la surface foliaire des plants a été observé (p <0,001).



**Figure 5 :** Surface foliaire des plants de maïs en fonction des différents traitements

CTL: contrôle; QTX: chitosane seul ; 100% NPK: 100% engrais minéraux; QFluo: *P. fluorescens* + chitosane; QPuti: *P. putida* + chitosane; QLipo: *A. lipoferum* + chitosane; QFluo + 50% NPK: *P. fluorescens* + chitosane + 50% NPK; QPuti + 50% NPK: *P. putida* + chitosane + 50% NPK; QLipo + 50% NPK: *A. lipoferum* + chitosane + 50% NPK.

### 2.3. Effet de la combinaison des PGPR et du chitosane sur les paramètres de rendement des plants de maïs

#### – Biomasses sèches produites par les plants de maïs

L'influence des PGPR et du chitosane sur la production de la biomasse sèche par les plants de maïs est présentée dans le tableau II. Notons que la biomasse sèche des plants de maïs a été positivement affectée par les traitements en comparaison.

Les plus grandes valeurs de biomasse sèche aérienne produite sont obtenues avec les traitements *P. putida* + chitosane + 50 % NPK suivi de *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK soit des augmentations respectives de 30,96 % et de 28,93 % du contrôle. Ces mêmes traitements présentent une augmentation respective de 6,41 % et de 4,77 % par rapport au traitement de 100 % NPK. La plus faible biomasse sèche aérienne est obtenue avec le témoin. L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre les différents traitements.

Quant à la biomasse sèche souterraine, les plus grandes valeurs ont été obtenues avec les traitements *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK et *P. fluorescens* + chitosane avec des augmentations respectives de 55,08 % et de 37,06 % du contrôle (tableau II). Par ailleurs, ces deux traitements ont induit des augmentations respectives de 23,23 % et de 8,91 % par rapport au traitement avec 100 % NPK. La plus faible biomasse sèche souterraine est obtenue avec le contrôle. L'analyse statistique a révélé une différence très hautement significative ( $p < 0,001$ ) entre les traitements.

#### – Rendement en grains des plants de maïs

Les effets des PGPR et du chitosane sur le rendement en grains de maïs sont présentés dans le tableau III. Les plants inoculés avec la combinaison de *P. putida* + chitosane + 50 % NPK suivi de la combinaison de *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK ont induit les meilleurs rendements en grains avec des augmentations respectives de 37,63 % et de 35,68 % comparé aux témoins.

**Tableau III :** Biomasse sèche produite et rendement en grains des plants de maïs en fonction des différents traitements

Traitements	Biomasse aérienne (g)	Biomasse / aérienne (g)	Rendement (t/h)
CTL	390,14±6,13 <sup>d</sup>	48,5±4,6 <sup>c</sup>	3,06±0,09e
QTX	401,7±11,26 <sup>d</sup>	52,27±4,01 <sup>bc</sup>	3,37±0,08 <sup>d</sup>
100%NPK	480,12±17,22 <sup>bc</sup>	61,04±6,27 <sup>abc</sup>	4,05±0,06 <sup>ab</sup>
Qfluo	483,88±11,48 <sup>bc</sup>	66,47±5,41 <sup>ab</sup>	3,72±0,14 <sup>c</sup>
Qputi	481,93±10,51 <sup>bc</sup>	65,27±6,31 <sup>ab</sup>	3,70±0,1343 <sup>c</sup>
QLipo	468,58±11,04 <sup>c</sup>	60,77±6,55 <sup>abc</sup>	3,86±0,11 <sup>bc</sup>
Qfluo+50%npk	503,03±9,51 <sup>ab</sup>	75,22±7,06 <sup>a</sup>	4,16±0,175 <sup>a</sup>
QLipo+50%npk	481,24±7,56 <sup>bc</sup>	64,09±3,6 <sup>ab</sup>	3,83±0,07 <sup>bc</sup>
Qputi+50%npk	510,92±15,21 <sup>a</sup>	65,11±6,49 <sup>ab</sup>	4,22±0,0985 <sup>a</sup>
Prob.	0,000	0,001	0,000
Signification	***	***	***

\*\*\* =  $p < 0.001$  (très hautement significatif), Dans la même colonne, les moyennes frappées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de Student-Newman-Keuls. CTL: contrôle; QTX: chitosane seul; 100% NPK: Engrais minéraux; QFluo: *P. fluorescens* + chitosane; QPuti: *P. putida* + chitosane; QLipo: *A. lipoferum* + chitosane; QFluo + 50% NPK: *P. fluorescens* + chitosane + 50% NPK; QPuti + 50% NPK: *P. putida* + chitosane + 50% NPK; QLipo + 50% NPK: *A. lipoferum* + chitosane + 50% NPK.

Des augmentations de 2,71 % à 4,20 % par rapport au traitement de 100% NPK ont été aussi enregistrées. Le plus faible rendement en grain de maïs a été obtenu avec le témoin sans bactérie ni chitosane. Les résultats d'analyse de la variance ont montré une différence hautement significative ( $p < 0,001$ ). La combinaison du chitosane et de PGPR a donc un effet positif sur les paramètres de rendement.

### III. Discussion

L'utilisation des PGPR et du chitosane comme des inoculants est une pratique dans le but de réduire l'application des engrais minéraux et en même temps promouvoir la croissance des plantes. L'effet des PGPR et du chitosane utilisés dans notre étude s'est clairement traduit à travers les paramètres de croissance et de rendement du maïs. En effet, les résultats montrent que l'application de *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK a induit une augmentation de 29,01 % en hauteur des plants (figure 3). Ces résultats se rapprochent des 12,85 % obtenus par Jelin *et al.* (2013) en Inde sur la hauteur.

En outre, la tendance évolutive du diamètre au collet des plants a montré que l'application de *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK a induit une augmentation de 26,52 % (figure 4). Ces résultats se rapprochent des 21,33% obtenus par Agbodjato *et al.* (2015) sur le maïs. Quant à la surface foliaire, la plus grande valeur est obtenue avec le traitement de *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK soit une augmentation de 27,29 % (figure 5). Bordiec (2010) affirme que l'action

principale des PGPR est souvent la stimulation de la croissance de la plante hôte. Cette croissance peut s'expliquer par la solubilisation des phosphates, la fixation de l'azote et la production de l'acide indole acétique (Gupta *et al.*, 2000 ; Dobbelaere *et al.*, 2003). Les travaux réalisés par Wanichpongpan *et al.* (2001) et Ramos *et al.* (2009) ont montré l'effet stimulateur du chitosane sur respectivement les plants de *Gerbera jamesonii* et de *Gladiolus* spp. Hasegawa *et al.* (2005) ont rapporté que l'augmentation de la hauteur et du diamètre sur les oignons a été obtenue à la suite de la culture d'*Arisaema ternatipartitum* dans un substrat avec un ajout de chitosane.

Quant aux paramètres de rendement, la plus grande valeur de biomasse sèche aérienne a été obtenue avec le traitement *P. putida* + chitosane + 50 % NPK tandis que pour la biomasse sèche souterraine c'est plutôt *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK (tableau III). Les études réalisées par Aliye *et al.* (2008) ont rapporté, que les rhizobactéries *P. fluorescens* (PF9 et PF20) sont à l'origine de l'augmentation de la biomasse des plants de pomme de terre.

Les plants traités avec les PGPR et le chitosane ont enregistré des rendements en grains de maïs supérieurs à ceux obtenus avec les plants témoins. Les plus grands rendements en grains de maïs ont été induit par les traitements *P. putida* + chitosane + 50 % NPK et *P. fluorescens* + chitosane + 50 % NPK avec des augmentations oscillant entre 35,68% à 37,63 %. Ces taux se rapprochent des 44,01 % obtenus par Agbodjato *et al.* (2015) sur le maïs. Cette augmentation obtenue dans notre étude peut s'expliquer par le fait que, les rhizobactéries agissent indirectement sur la plante par la suppression des agents pathogènes induisant une meilleure santé des plantes, par conséquent un meilleur rendement (Liette *et al.*, 2013). Par ailleurs, Ravi et Kumar (2000) rapportent que la présence de chitosane comme fertilisant accélère la croissance des plantes et améliore le rendement des cultures. Pedraza *et al.* (2009), suggèrent que l'inoculation de plantes d'intérêt agronomique par *Azospirillum* améliore les rendements. L'influence positive des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes sur le développement des plants peut s'expliquer par une meilleure germination des semences puis un meilleur développement postérieur des racines; ce qui induit l'augmentation de la capacité d'absorption des nutriments et de l'eau chez les plantes (Ahmad *et al.*, 2006).

Par ailleurs, Malgré le faible niveau de fertilité du sol d'expérimentation, les rhizobactéries et le chitosane ont pu exprimer leur potentialité à travers les taux d'améliorations observés. Toutes fois, les conditions climatiques, édaphiques et météorologiques du site expérimental pourraient aussi impacter négativement ces taux d'amélioration. Les mêmes observations ont été faites par Oga, (2012) qui explique qu'en plus de la contrainte de la baisse de la fertilité des sols, la variabilité et l'irrégularité du régime des pluies affectent également les niveaux de rendement des cultures. De plus, Balogoun *et al.* (2013) affirment que les semis après les toutes premières pluies connaissent des périodes de stress hydrique affectant considérablement le niveau de rendement du maïs.

## Conclusion

L'inoculation des plants du maïs par le chitosane et les rhizobactéries *P. fluorescens*, *P. putida* et *A. lipoferum* permet d'améliorer significativement la croissance, le rendement du maïs au Sud-Bénin. Pour la plupart des paramètres évalués, les rhizobactéries *P. fluorescens* et *P. putida* en combinaison avec le chitosane et 50 % de NPK sont les traitements les plus efficaces parmi ceux étudiés. Ces résultats augurent de la possibilité d'utiliser le chitosane et ces rhizobactéries

comme des fertilisants biologiques pour une production de maïs durable. Au Bénin, où la forte pression démographique et la baisse croissante de la fertilité des sols mettent en péril les filières agricoles, l'agriculture alternative, respectueuse de l'environnement, favorisant l'usage de méthodes biologiques pour accroître les récoltes, est une solution incontournable.

## Remerciements

Nous remercions le Projet de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) pour avoir financé ce projet et l'Institut National des Sciences Agricole (INCA) de Cuba pour nous avoir donné le Bioproduit chitosane.

## Références bibliographiques

**Adjanohoun A., Baba-Moussa L., Glèlè kakai R., Allagbé M., Yèhouénu B., Gotoechan-Hodonou H., Sikirou R., Sessou P. et Sohounhloué D., 2011.** Caractérisation des rhizobactéries potentiellement promotrices de la croissance végétative du maïs dans différents agrosystèmes du Sud-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5: 433-444.

**Adjanohoun A., Noumavo P. A., Sikirou R., Allagbé M., Gotoechan-Hodonou H., Dossa K. K., Yèhouénu B., Glèlè Kakai R. et Baba-Moussa L., 2012.** Effets des rhizobactéries PGPR sur le rendement et les teneurs en macroéléments du maïs sur sol ferrallitique non dégradé au Sud-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6: 279-288.

**Afrique Conseil., 2006:** Monographie de la commune d'Allada.

**Agbodjato N.A., Noumavo P.A., Adjanohoun A., Dagbenonbakin G., Atta M., Rodriguez A.F, Blanca M. de la Noval Pons et Baba-Moussa L., 2015.** Response of maize crop to biofertilization with plant growth promoting rhizobacteria and chitosan under field conditions, *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3(6): 566-574.

**Alalaoui A. C., 2007.** Fertilisation minérale des cultures: les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium et Phosphore). *Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison.* 155: 1- 4.

**Aliye N., Fininsa C. et Hiskias Y., 2008.** Evaluation of rhizosphere bacterial antagonists for their potential to bio-protect potato (*Solanum tuberosum*) against bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*). *Biological Control* 47: 282-288. doi: 10.1016/j.biocontrol.2008.09.003.

**Ahmad F, Ahmad I. et Khan MS., 2006.** Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiology Research* 163: 173-181..

**Badu-Apraku B., Yallou C. G., 2009.** Registration of Striga-Resistant and Drought –Tolerant Tropical Early Maize Populations TZE-W Pop DT STR C4 and TZE-Y Pop DT STR C4. *J. Plant. Res.* 3: 86-90.

**Balogoun I., Saïidou A., Ahoton L.E., Adjanohoun A., Amadji G., Youl S., Mando A., Igue A. M., et Sinsin B. A. 2013.** Détermination des formules d'engrais minéraux et des périodes de semis pour une meilleure production du maïs au Sud et au Centre Bénin. *Bulletin de Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*.<http://www.slire.net>.ISSN on line : 1840-7099. pp:1-12.

**Bashan Y., Holguin G. et de-Bashan L. E., 2004.** *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Can. J. Microbiol.* 50: 521-577.

**Bordiec S., 2010.** Interaction entre la Vigne (*Vitis vinifera* L.) et une bactérie PGPR, *Burkholderia phytofirmans* souche Ps JN : mécanismes de défense impliquée lors de la perception de la bactérie par la plante, et lors de l'établissement de la protection contre le froid et la pourriture grise. Thèse de doctorat en Biologie et Physiologie Végétale; Université de Reims Champagne- Adrenne (France).

**Claudia L., 2000.** Field and laboratory screening of maize (*Zea mays* L.) cultivars for adaptation on an acid Al-toxic Soil in Guadeloupe. *Diplomathesis.* University of Hannover, 71p.

- Dobbelaere S., Vanderleyden J. et Okon Y., 2003.** Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 107-149.
- Donadio S., Carrano L., Brandi L., Serina S., Soffientini A., Raimondi E., Montanini N., Sosio M. et Gualerzi, C.-O. 2002.** Targets and assays for discovering novel antibacterial agents. *J Biotechnol*, 99: 175-185.
- Govindappa M, Ravishankar RV et Lokesh S., 2011.** Screening of *P. fluorescens* isolates for biological control of *Macrophomina phaseolina* root-rot of safflower. *African Journal of Agricultural Research* 6: 6256-6266. doi: 10.5897/AJAR10.1017.
- Gupta P.C. et Mehta H.C., 2000.** Cohort study of all-cause mortality among tobacco users.
- Hasegawa A., Kanechika R. et Oguni S., 2005.** Effect of low temperature and chitosan on dormancy breaking and growth of young corms of three *Arisaema* species. *Acta Horticultural* 673: 603-609. doi: <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.673.83>
- INRAB, 2011.** Contribution de la Recherche à la Promotion des Filières Agricoles Porteuses du Bénin 2007–2011. *Production Végétale* (Tome 1) MAEP, Bénin. 150p.
- Jelin J., Selvakumar T.A. et Dhanarajan M.S. 2013.** Phytological analysis for designinig a microbial consortium to Enhance plant growth. *International Journal of Chem Tech Research*,5 (3):1370-1375.
- Oga, C.A., 2012 :** Date de semis et formule d’engrais pour une meilleure productivité du maïs (*Zea mays*) sur sol ferrugineux tropicaux au Centre Bénin. Mémoire d’ingénieur agronome, Faculté d’Agronomie, Université de Parakou, Bénin.75 p.
- Pedraza R., Bellone O., Carrizo de Bellone C. H., Boa Sorte S., P. et Teixeira K. R., 2009.** Azospirillum inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *Eur J Plant Pathol* 45:36-43.
- Rabea EI., Badawy MET., Stevens CV., Smagge G. et Steurbaut W., 2003.** Chitosan as antimicrobial agent: Applications and mode of action. *Biomacromolecules*, 4(6):1457-1465.
- Ravi Kumar M. N. V., 2000.** A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1) 1-27.
- Ruget F., Bonhomme., Chartier M., 1996.** Estimation simple de la surface foliaire de plantes de maïs en croissance. *Agronomie*. 16: 553-562.
- Valdés E. M. F., González E. C., Serrano M. M., Labrada H. R., Báez E. M., Hernández F. G. et Hernández F. A., 2013.** Experiencias obtenidas en el desarrollo participativo de híbridos lineales simples de maíz en condiciones de bajos insumos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 34 (2): 61-69.
- Wanichpongpan P., Suriyachan K. et Chandkrachang S., 2001:** Effect of chitosan on the growth of gerbera flower plant (*Gerbera jamesonii*). In: Uragami T, Kurita K, Fukamizo T (Eds.) *Chitin and Chitosan in Life Science*, Yamaguchi.
- Yallou C. G., Aïhou K., Adjanohoun A., Baco M. N., Sanni O. A., Amadou L., 2010a:** Répertoire des Variétés de Maïs Vulgarisées au Bénin : *Document Technique d’Information et de vulgarisation*. ISBN : 978-99919-368-4-0. Dépôt légal N° 4920, 4<sup>e</sup> Trimestre, Bibliothèque Nationale du Bénin, 19 p.
- Yallou C. G., Aïhou K., Adjanohoun A., Toukourou M., Sanni O. A. et Ali D., 2010b:** Itinéraires techniques de production de maïs au Bénin. *Fiche technique*. Dépôt légal N° 4922. ISBN : 978-99919-368-5-7, Bibliothèque Nationale du Bénin, 18 p.