

Sélection des variétés de soja pour la résistance à la pustule bactérienne au Bénin

V.A. Zinsou^{1*}, F. Afloukou¹, E. Sekloka¹, F. Dannon¹, N. Zoumarou-Wallis¹, L.A.C. Afouda¹ & L. Dossou¹

Keywords: *Xanthomonas axonopodis* pv *glycines*- Artificial inoculation- Natural infection- Yield losses- Parakou- Benin

Résumé

La pustule bactérienne causée par Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* est une maladie redoutable du soja qui induit d'énormes pertes de rendements à travers le monde. L'objectif de cette étude est de tester 16 variétés de soja pour leur résistance à la pustule bactérienne sous infection naturelle et sous inoculation artificielle. L'étude a été réalisée sous serre et au champ à la ferme expérimentale de l'Université de Parakou de juillet à octobre en 2013 et en 2014. Des résultats, il ressort que les variétés JUPITER, ISRA25/72, TGX1985-77F, TGX1910-2F et TGX1985-11F sont sensibles à moyennement sensibles. Les variétés TGX1448-2E, TGX1987-62F, TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F et TGX1440-1E sont moyennement résistantes à résistantes. Les variétés TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F et TGX1989-19F sont moyennement résistantes en serre et sensibles à moyennement sensibles au champ. En 2013, des pertes de rendement de l'ordre de 2,7 à 28,1% ont été enregistrées avec les variétés TGX1910-2F, ISRA25/72, JUPITER, TGX1910-2F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F. Les pertes de rendement ont été calculées pour chacune des variétés citées en prenant en compte le résultat de la différence entre le rendement de la variété soumise à l'infection naturelle et celui de la variété sous inoculation artificielle divisé par le rendement de la variété soumise à l'infection naturelle. En 2014, les variétés TGX1985-77F, TGX1740-2F, ISRA25/72, TGX1987-62F et TGX1910-14F ont montré des pertes allant de 4,7 à 21,4%. Les autres variétés ont présenté des gains de rendement de 2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014. La variété TGX1985-11F n'a enregistré ni de gain, ni de perte au cours des deux années. Ainsi, parmi les 16 variétés testées, TGX1987-62F et TGX1990-15F les plus résistantes aux symptômes et TGX1989-19F,

Summary

Selection of Soybean Varieties for Resistance to Bacterial Pustule in Benin

Bacterial pustule caused by Xanthomonas axonopodis pv. *glycines* is a dreaded disease on soybeans inducing considerable yield losses worldwide. The aim of this study is to test 16 soybean varieties for resistance to bacterial pustule under natural infection and artificial inoculation. The study was conducted under greenhouse and field conditions at the experimental farm of the University of Parakou from July to October in 2013 and in 2014. The results show that the varieties JUPITER, ISRA25/72, TGX1985-77F, TGX1910-2F and TGX1985-11F are sensitive to moderately sensitive. The varieties TGX1448-2E, TGX1987-62F, TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F and TGX1440-1E are moderately resistant to resistant. The varieties TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F and TGX1989-19F revealed moderately resistant in the greenhouse, but sensitive to moderately sensitive in the field. In 2013, yield losses from 2.7 to 28.1% were recorded with the varieties TGX1910-2F, ISRA25/72, JUPITER, TGX1910-2F, TGX1987-10F, TGX1835-10F and TGX1740-2F. Yield losses were calculated for each variety considering the yield difference between the natural infection and the artificial inoculation conditions. The difference was then divided by the yield obtained in the natural infection conditions. In 2014, varieties TGX1985-77F, TGX1740-2F, ISRA25/72, TGX1987-62F and TGX1910-14F showed losses ranging from 4.7 to 21.4%. The other varieties showed yield increases from 2.7 to 26% in 2013 and from 2.2 to 36.6% in 2014. With variety TGX1985-11F neither yield loss nor gain were observed over the two years. For the 16 tested varieties, TGX1987-62F and TGX1990-15F are the most resistant; while

¹Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

*Auteur correspondant: Email: valerien.zinsou@fa-up.bj, valzinsou@gmail.com

Reçu le 26.02.15 et accepté pour la publication le 07.07.15

TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F et TGX1910-14F à symptômes modérés et rendements élevés pourront être recommandées aux producteurs. Les deux variétés les plus résistantes pourront en outre être intégrées dans un programme d'amélioration.

TGX1989-19F, TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F and TGX1910-14F are partially resistant. Those varieties have a high yield and could be recommended to the farmers. The two most resistant varieties can be integrated in a plant breeding programs.

Introduction

La pustule bactérienne causée par *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* est une des principales maladies du soja recensée dans le monde (16). Elle a une grande importance économique dans les grandes zones de productions de soja dans le monde (31). La maladie prévaut dans les champs de soja où des températures élevées et de fréquentes pluies subsistent (26). Le pathogène est une bactérie Gram négatif qui cause des maladies et symptômes sur au moins 124 monocotylédones et 268 dicotylédones (9). Il vit dans les résidus de récolte, sur la surface du sol, sur des graines, dans la rhizosphère de racines de blé. La maladie se répand dans le champ de soja par des ouvertures normales (stomates) de la plante et des blessures lorsque le feuillage est humide. Les bactéries se multiplient entre les cellules toutes les fois que les conditions chaudes et humides ou pluvieuses règnent. La pustule bactérienne est reconnue grâce aux symptômes incluent de petites taches vertes pales avec des pustules qui se développent en larges taches nécrotiques conduisant à une défoliation prématurée (19). En Afrique de l'Ouest, elle a été signalée au Nigeria, en Côte d'Ivoire (13). Au Bénin, les prospections réalisées ont montré que la pustule bactérienne était présente sur 33 des 35 champs prospectés dans la savane guinéenne et sur 13 des 18 champs visités dans la savane soudanienne (32). Les pertes de rendement dues à la maladie sont estimées à travers le monde jusqu'à 40% (21).

Au Bénin, la production de soja est en pleine augmentation et a atteint 11.000.tonnes en 2012 sur une superficie de 17500 ha (6).

Au nombre des variétés recommandées dans la savane guinéenne afin d'accroître la productivité et d'offrir de meilleures opportunités aux producteurs

on peut citer TGx1740-2F, TGx1987-10F, et TGx1987-62 (4), Jupiter, ISRA 44A/73, ISRA 25/72, TGx 536-02 D, TGx 1910-14F, TGx 1910-20E , TGx 1910-5F et TGx 1910-3F (2).

Avec l'augmentation de la production du soja, la présence de *X. axonopodis* pv. *glycines* peut limiter le rendement en grains. Pour contrôler la maladie des produits agrochimiques ont été appliqués durant la phase végétative. Cependant, ces produits pourraient avoir des effets négatifs sur l'environnement, les humains et les animaux (20). Aussi, la lutte biologique avec des promoteurs de croissance de plantes ou des bactéries productrices d'antibiotiques avait été considéré comme alternative (11, 15, 23). Une autre forme de lutte est le choix de la date de semis qui peut affecter directement ou indirectement la sévérité de la maladie (5, 10). Cette pratique culturale est facilement utilisable par les producteurs car il permet de réduire les coûts de production en supprimant les charges liées aux pesticides tout en préservant la santé des consommateurs et l'environnement. Cependant l'utilisation des variétés résistantes est une méthode pratique de contrôle de la maladie bien qu'elle soit encore limitée (29). En effet l'émergence de souches pathogènes de virulence diverse entre les saisons et les lieux engendrent également la résistance des plantes contre les pathogènes (25). Ainsi la disponibilité de variétés résistantes est nécessaire et plusieurs études ont également montré que ces variétés combinées avec la date de semis est efficace pour contrôler les maladies foliaires du soja dont la pustule bactérienne. Ainsi, l'objectif de la présente étude est de sélectionner des variétés résistantes à la pustule bactérienne dans la commune de Parakou au Nord-Bénin.

Matériel et méthode

Deux études ont été menées: un essai de criblage de variétés de soja avec trois souches de bactéries sélectionnées pour leur virulence en serre et un essai de criblage de variétés de soja avec une souche au champ.

Essai de criblage de seize variétés de soja avec trois souches de bactériose en serre

Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est composé de quatorze variétés de soja améliorées 'TGX' basées sur la sélection de promiscuité provenant du croisement de variétés asiatiques et américaines développés par l'IITA-Ibadan, Nigeria (17) TGX 1910-2F, TGX 1984-77F, TGX 1910-14F, TG X1989-21F, TGX 1990-15F, TGX 1989-19F, TG X1448-2E, TGX 1740-2F, TGX1988-5F, TGX 1835-10F, TGX 1987-62F, TGX 1440-1E, TGX 1987-10F et TGX-1985-11F et des variétés locales ISRA25/72 et JUPITER fournis par le Centre de Recherches Agricoles- Nord à Ina au Bénin. Ces variétés sont recommandées pour la culture dans la savane soudano-guinéenne.

Dispositif expérimental

L'essai de criblage des variétés a été implanté en juillet 2012 selon un dispositif en split plot, avec comme facteur principal l'isolat et facteur secondaire la variété. Il est constitué de quatre blocs subdivisés en quatre sous blocs installés sous serre à 21,4-31,4 °C et 60-96% d'humidité relative. Chaque sous bloc comporte les 16 variétés à raison de 4 pots de 1,5 dm³ par ligne et d'un plant par pot. Le terreau utilisé a été stérilisé à 65°C pendant 72h.

Préparation de l'inoculum

Trois isolats bactériens virulents UP-BK-S1, UP-PE-S2 et UP-PK-S6 provenant respectivement de Banikoara, Pehunco et Parakou (32) et conservés au laboratoire de phytopathologie de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou ont été utilisés. Les inocula bactériens ont été préparés en cultivant les 3 isolats à 30°C pendant 48 h sur milieu de culture gélosé amendé de levure et de glucose (levure 10g/l, glucose 10g/l, peptone 10 g/l, agar 15 g/l), ensuite suspendus dans la solution de sulfate de magnésium pour obtenir une suspension aqueuse de cellules ($OD_{600} = 0.2$, $\approx 10^8$ CFU/ml).

Les suspensions sont ensuite infiltrées à l'aide d'une pompe dans des feuilles des variétés (2 feuilles/plant) de 3 semaines d'âge sous une serre. L'inoculation des plants par les 3 isolats a été effectuée à l'aide d'une pompe infiltrant 3 semaines après semis. Aucun produit insecticide n'a été utilisé dans la serre.

Collecte des données

L'évaluation de la sévérité a consisté à utiliser l'échelle de notation élaborée par Prathuangwong *et al.* (22). Elle a consisté à placer une carte en papier stencil de 4 x 7 cm² avec 9 cercles de 1 cm de diamètre sur la surface de la foliole infectée et à calculer le rapport entre nombre de cercles avec lésion et nombre total de cercles. L'évaluation a débuté 7 jours après l'inoculation en serre sur chaque plant inoculé et 4 fois à l'intervalle de 7 jours. Les valeurs de la sévérité de la bactériose à chaque date d'évaluation ont été utilisées pour calculer la surface sous la courbe d'évolution de la sévérité suivant la formule I:

$$AUSPC = \sum_i [(S_i + S_{i-1}) \times (t_i - t_{i-1})] / 2 \quad I$$

S_i = moyenne de la sévérité à la date t_i et t_i correspond aux différentes dates d'évaluation (14, 24).

Essai de criblage de seize variétés de soja avec une souche de bactériose au champ

Site expérimental

Les essais ont été effectués à la ferme expérimentale de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou situé dans la zone soudano-guinéenne (N 09°18' 908"; E 002°42' 106') de Juin à Octobre en 2013 puis répété en 2014. La pluviométrie totale de la période des essais est de 609,8 mm en 2013 et de 1008,3 mm en 2014. L'hygrométrie est comprise entre 58 et 95% en 2013 et entre 59 et 99% en 2013, et la température a varié de 21,1°C à 31,6°C en 2013 et de 21°C à 31,3°C en 2014. La saison pluvieuse s'étend de Mai à Octobre et la saison sèche de Novembre à Avril. Le sol repose sur le socle granito- gneissique où évoluent essentiellement les sols ferrugineux tropicaux.

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en 'Augmented Randomised Complete Bloc Design' à sens unique d'hétérogénéité (8, 27, 30). Les trois (3) variétés: ISRA 25/72, JUPITER et TGX-1985-11F (sensibles à la pustule, essai serre 2012 de la présente étude) ont servi de témoins tandis que les treize variétés TGX 1910-2F, TGX 1984-77F, TGX 1910-14F, TG X1989-21F, TGX 1990-15F, TGX 1989-19F, TG X1448-2E, TGX 1740-2F, TGX1988-5F, TGX 1835-10F, TGX 1987-62F, TGX 1440-1E et TGX 1987-10F constituent les nouvelles entrées. Les variétés témoins ont été répétées trois fois. Les variétés ont été semées en condition naturelle (non inoculée) et artificielle (inoculée); les deux conditions étant séparées par un écran de sorgho à paille haute de six mètre de largeur. L'inoculum de l'isolat UP-PK-S6 de la bactérie en provenance de Parakou (32) a été préparé comme précédemment et utilisé pour l'inoculation grâce à un pulvérisateur manuel.

Le semis des graines a été fait selon des écartements de 50 cm entre les lignes et de 30 cm entre les poquets sur la ligne. Deux graines ont été semées par poquet soit une densité maximale attendue de 133333 plants à l'hectare. Les parcelles élémentaires mesuraient 3 m x 3 m soit une superficie de 9 m². La distance entre deux parcelles élémentaires adjacentes était de un mètre alors que les trois blocs (3 répétitions) ont été séparés par une allée de deux mètres. Une bordure de 2 m a été observée au niveau de chaque côté. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué durant tout le cycle de culture. Par contre, deux sarclages manuels ont été faits.

Collecte des données

Sévérité de la bactériose

Pour évaluer la sévérité, 10 plantes de chaque variété ont été respectivement choisies au hasard sur les deux diagonales de chaque parcelle. L'évaluation a été effectuée trois fois et a débuté une semaine après l'inoculation et à l'intervalle de 14 jours. Sur chaque variété, la sévérité a été notée sur les parties basses, moyennes et hautes des plantes et l'AUSPC a été calculé comme ci-dessus.

Rendement en grains

Les plants ont été prélevés dans 15 poquets occupant une superficie de 2,25 m² sur les parcelles élémentaires de 9 m², dans les différents blocs, et dans chaque répétition suivant les variétés. Ensuite le nombre total de graines des plants choisis sur les 9 m² a été séché jusqu'à un taux d'humidité de 10% puis pesé pour trouver le poids des graines sur 2,25 m² qui a été rapporté enfin à l'unité de surface qui est l'hectare.

Analyse des données

L'analyse de variance a été effectuée suivant la procédure du modèle linéaire général (GLM) de SAS version 7 sur les valeurs de sévérité transformées. Le test de Student-Newmann-Keuls a été ensuite utilisé pour comparer les moyennes ($p \leq 0,05$). Les valeurs des tableaux sont les moyennes réelles avec leurs erreurs Standards. Des classes de variétés sensibles (S) (AUSPC $\leq$ 40), moyennement résistants (MR) (40 < AUSPC $\leq$ 10) et résistants (AUSPC<10) sont formés.

Résultats

Sévérité des variétés à l'infection artificielle par différents isolats en serre

Les valeurs des AUSPC observées au niveau des variétés testées sont significativement différentes avec l'isolat UP-BK-S1 de Banikoara ($P=0,0001$) et ont varié de 13,8 à 519,2. Avec l'isolat UP-PE-S3 de Pehunco les valeurs des AUSPC ont significativement varié ($P=0,0048$) sur les variétés allant de 46,12 à 368,57 (Tableau 1).

L'isolat UP-PK-S6 de Parakou a eu un effet significatif ($P=0,0358$) sur les variétés testées pour des AUSPC variant de 6,96 à 70,25. Les isolats UP-BK-S1 et UP-PE-S₃ dont les valeurs d'AUSPC sont respectivement de 138,11 et de 136,44 sont plus virulents que l'isolat UP-PK-S6.

Ainsi, les variétés Jupiter ISRA 25/72, TGX1985-77F et TGX1910-2F ont montré une sensibilité plus élevée à l'infection avec l'isolat UP-BK-S1 (AUSPC respectif: 519,2; 378; 229,4; 227,9), mais la variété TGX1990-15F a développé moins de valeurs de sévérité après inoculation (13,8). Aussi, les variétés TGX1985-11F, TGX1910-2F et ISRA 25/72 ont montré une sensibilité à l'infection avec l'isolat

Tableau 1

Sévérité (AUSPC) de 16 variétés de soja à l'infection artificielle en serre de trois isolats de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

Variétés	Isolat UP-BK-S1	Isolat UP-PE-S3	Isolat UP-PK-S6	Moy AUSPC	F	P
JUPITER	519,2±131,6aA	188,1±58,3abB	66,4±22,2aB	257,9±72,5a	7,75	0,011
TGX1910-2F	227,9±165,6bcA	222,6±51,8abA	70,2±35,9aA	173,6±57,8abc	0,77	0,4932
ISRA 25/72	378±172,1abA	314,2±168abA	46,1±14,7aA	246,1±84,6a	1,6	0,2541
TGX1985-11F	175,2±47,6bcB	368,5±20,2aA	21,6±20,9aC	188,4±45,9ab	29,05	0,0001
TGX1985-77F	229,4±27,5bcA	142,4±73,3abA	64,0±14,8aA	145,3±31,5abc	3,22	0,0879
TGX1910-14F	43,8±9,6bcA	118,9±46,1abA	42,6±19,5aA	68,4±18,7bc	2,2	0,1667
TGX1989-21F	31,4±14,8bcA	103,6±50,7abA	15,0±15,0aA	49,9±20,0bc	2,26	0,1605
TGX1990-15F	13,8±7,7cA	73,1±34,1bA	31,6±18,3aA	39,5±14,0c	1,78	0,2229
TGX1989-19F	51,8±40,4abcA	80,7±26,4bA	8,2±5,2aA	46,9±17,1bc	1,69	0,2377
TGX1448-2E	34,5±15,1bcA	90,0±35,6bA	9,5±5,6aA	44,7±15,5bc	3,32	0,0833
TGX1740-2F	168,9±13,4bcA	46,1±11,8bB	18,1±9,6aB	77,7±20,6bc	46,46	0,0001
TGX1988-5F	25,1±10,3bcB	111,0±10,7abA	6,9±2,9aB	47,7±14,4bc	40,09	0,0001
TGX1835-10F	149,2±33,2bcA	57,1±34,7bA	43,9±11,8aA	83,4±20,5bc	4,04	0,0561
TGX1987-62F	49,6±18,4bcA	48,8±17,4bA	12,9±4,31aA	37,1±9,3c	1,99	0,1921
TGX1440-1E	74,1±16,6bcA	102,3±20,2abA	15,4±5,5aB	63,9±13,5bc	8,22	0,0093
TGX1987-10F	37,9±12,5bcAB	115,0±42,2abA	9,8±6,8aB	54,2±18,9bc	4,47	0,0449
Moy AUSPC	138,11A	136,44A	30,20B			
F	4,04	2,69	2			
P	0,0001	0,0048	0,0358			

UP: Université de Parakou, BK: Banikoara, PE: Pehunco, PK: Parakou, S: Soja.

Les valeurs suivies de mêmes lettres minuscules en colonne et celles suivies de mêmes lettres majuscules dans les lignes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

UP-PE-S3 alors que la variété TGX1740-2F a développé moins de valeurs de sévérité après inoculation (46,1). Toutes les variétés ont développé moins de symptômes avec l'isolat UP-PK-S6. Comparant les variétés, une réaction différente a été observée. Bien que les isolats UP-BK-S1 et UP-PE-S3 aient produit une moyenne générale d'AUSPC similaire (138,11 et 136,44), six variétés (TGX1910-14F, TGX1989-21F, TGX1990-15F, TGX1418-2E, TGX1988-5F, TGX1987-10F) sont résistantes à l'isolat UP-BK-S₁ et sensibles à l'isolat UP-PE-S₃, alors que le contraire s'observe pour deux autres variétés (TGX1740-2F et TGX1835-10F).

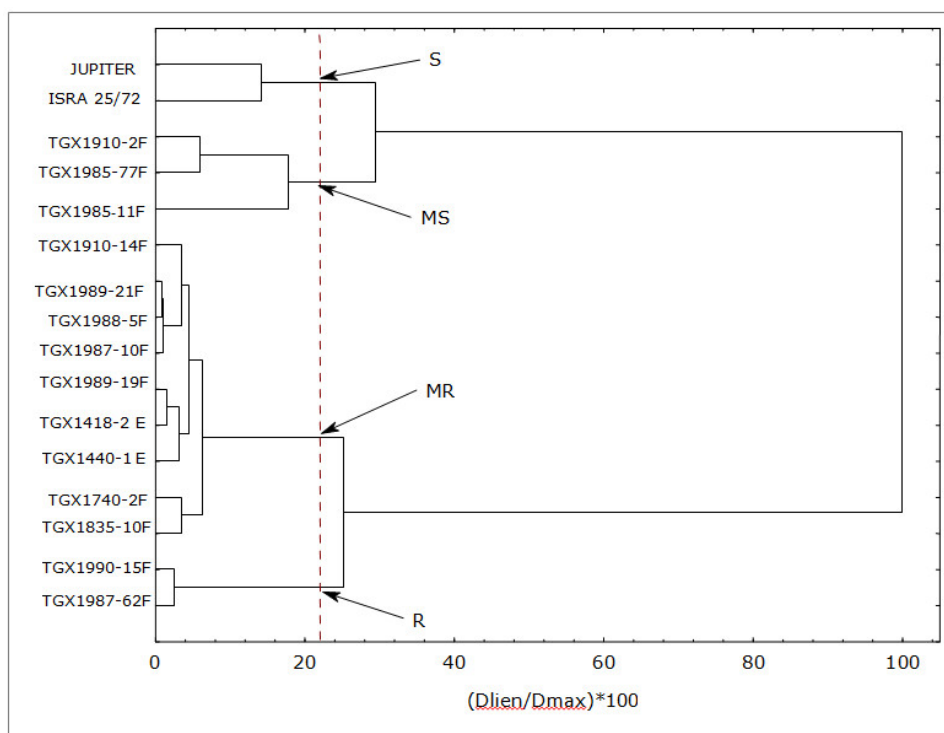
En somme les variétés testées se répartissent en quatre groupes (Figure 1, Tableau 1). Le groupe des variétés sensibles et qui se comportent de la même manière avec les trois isolats. Les deux groupes de variétés sensibles et moyennement sensibles ont des moyennes d'AUSPC supérieures à 100. Le

groupe des variétés moyennement résistantes, et qui se comportent différemment avec les trois isolats. Le groupe des variétés résistantes se comportant de la même manière avec les isolats UP-BK-S1, UP-PE-S3 et différemment avec l'isolat UP-PK-S6. Les deux groupes de variétés moyennement résistantes et résistantes ont des moyennes d'AUSPC inférieures à 100.

Sévérité des variétés à l'infection naturelle et artificielle de *X. axonopodis* pv. *glycines* au champ

L'analyse de variance de l'AUSPC montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les variétés en 2013 et 2014 (Tableau 2).

Elle n'est ni significativement différente en condition naturelle, ni en condition inoculée. Mais, une augmentation de la sévérité a été généralement observée au niveau des variétés seulement après



S: Sensible; MS: moyennement sensible; MR: moyennement résistant; R: résistant

Figure 1: Dendrogramme illustrant le niveau de sensibilité de 16 variétés de soja en serre face à 3 isolats de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

inoculation au champ, mais pas dans les variétés sous infection naturelle. En condition naturelle, elle a varié de 0,6 à 41,6 en 2013 et de 0,8 à 32,7 en 2014. En condition inoculée, les valeurs de la sévérité sont comprises entre 1,8 et 73,1 en 2013 et entre 1,5 et 57,0 en 2014. Aussi, plusieurs variétés résistantes sous infection naturelle sont devenues sensibles après inoculation au champ (Tableau 3).

Ainsi, quatre variétés sont sensibles, cinq variétés moyennement résistantes et une variété résistante (TGX1440-1E) en condition inoculée au champ au cours des deux années, alors que six autres variétés sensibles en 2013 sont moyennement résistantes en 2014.

Sous infection naturelle, cinq variétés (TGX1990-15F, TGX1987-10F, TGX1835-10F, TGX1740-2F, TGX1440-1E) sont résistantes, sept variétés moyennement résistantes, alors que deux autres variétés sensibles en 2013 sont moyennement résistantes en 2014 et deux autres variétés résistantes en 2013 sont moyennement résistantes en 2014.

Réaction des variétés à l'infection au champ et sous serre de *X. axonopodis* pv. *glycines*

Une comparaison des résultats enregistrés en condition inoculée au champ et sous serre permet de noter qu'une seule variété (TGX1910-2F) est sensible en serre sur les quatre sensibles au champ et les trois autres sont moyennement résistantes (Tableau 3). Sur les cinq variétés moyennement résistantes au champ, trois sont moyennement résistantes sous serre (TGX1987-10F, TGX1835-10F et TGX1740-2F) et les deux autres (TGX1987-62F et TGX1990-15F) sont résistantes. La seule variété résistante au champ (TGX1440-1E) est moyennement résistante sous serre.

Evaluation du rendement en grain des variétés sous infection naturelle et inoculation

Des pertes de rendement (2,7 à 28,1% en 2013; 4,7 à 21,4% en 2014) et aussi des regains de rendement (2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014) sont observés en comparant l'infection naturelle avec généralement une faible valeur d'AUSPC à une inoculation au champ avec généralement une valeur élevée d'AUSPC.

Tableau 2

Sévérité (AUSPC) de 16 variétés de soja sous infection naturelle et inoculation au champ avec l'isolat UP-PK-S6 de *X. axonopodis* pv. *glycines* en 2013 et 2014.

Variétés	Infection naturelle	Inoculée	Infection naturelle	Inoculée
	2013		2014	
TGX1988-5F	41,6	73,1	24,6	57,0
TGX1910-14F	6,0	71,0	19,1	35,0
TGX1985-77F	37,0	66,7	28,9	30,8
TGX1989-21F	41,0	62,7	30,5	41,4
TGX1910-2F	10,9	59,7	21,1	50,3
ISRA 25/72	35,1	54,4	20,5	29,7
TGX1989-19F	14,3	54,2	32,7	38,0
TGX1985-11F	30,2	49,2	23,9	24,4
JUPITER	40,9	48,2	21,1	38,1
TGX1448-2E	39,8	41,6	13,0	46,1
TGX1987-62F	15,3	29,8	12,1	27,7
TGX1990-15F	9,6	29,5	9,8	23,7
TGX1987-10F	9,3	27,9	2,2	22,2
TGX1835-10F	9,5	12,1	7,2	12,1
TGX1740-2F	4,0	11,6	4,6	17,1
TGX1440-1E	0,6	1,8	0,8	1,5
ES T	5,5	11,9	4,4	10,2
ES X	13,7	29,2	0,4	10,8
P	0,1	0,7	0,4	0,5

ES= erreur standard X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétées dans chaque bloc P= probabilité.

Tableau 3

Réaction de 16 variétés de soja sous infection au champ et sous serre avec *X. axonopodis* pv. *glycines*.

Variétés		Infection naturelle	Inoculée au champ	Infection naturelle	Inoculée au champ	Inoculée en serre
		2013		2014		2012
TGX1988-5F X	S	S	MR	S		MR
TGX1910-14F X	R	S	MR	MR		MR
TGX1985-77F X	MR	S	MR	MR		MS
TGX1989-21F X	S	S	MR	S		MR
TGX1910-2F X	MR	S	MR	S		MS
ISRA 25/72 T	MR	S	MR	MR		S
TGX1989-19F X	MR	S	MR	MR		MR
TGX1985-11F T	MR	S	MR	MR		MS
JUPITER T	S	S	MR	MR		S
TGX1448-2E X	MR	S	MR	S		MR
TGX1987-62F X	MR	MR	MR	MR		R
TGX1990-15F X	R	MR	R	MR		R
TGX1987-10F X	R	MR	R	MR		MR
TGX1835-10F X	R	MR	R	MR		MR
TGX1740-2F X	R	MR	R	MR		MR
TGX1440-1E X	R	R	R	R		MR

X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétées dans chaque bloc.

S- Sensible (AUSPC≤40), MR- moyennement résistant (40 <AUSPC≤10), R- Résistant (AUSPC<10).

Tableau 4

Rendement (t/ha) de 16 variétés de soja sous infection naturelle et inoculation artificielle en 2013 et 2014.

Variétés	Rendement (t/ha)					
	Infection naturelle	Inoculée	Perte (%)	Infection naturelle	Inoculée	Perte (%)
	2013			2014		
TGX1988-5F X	2,3	2,6	13,0	2,2	3,0	36,6
TGX1990-15F X	3,5	3,7	5,7	3,3	3,7	12,1
TGX1910-2F X	3,6	3,5	-2,7	4,4	4,5	2,2
ISRA 25/72 T	3,6	3,5	-2,7	3,9	3,3	-15,3
TGX1985-77F X	3,6	3,7	2,7	4,2	4,0	-4,7
TGX1987-62F X	2,3	2,7	26,0	2,4	2,0	-16,6
JUPITER T	3,0	2,9	-3,3	3,2	3,8	18,7
TGX1985-11F T	3,9	3,9	0,0	3,7	3,7	0,0
TGX1835-10F X	2,9	2,2	-24,1	2,6	2,7	3,8
TGX1987-10F X	2,9	2,3	-20,6	2,8	2,9	3,5
TGX1740-2F X	3,2	2,3	-28,1	2,8	2,4	-14,2
TGX1448-2E X	3,7	3,4	-8,1	3,1	3,5	12,9
TGX1440-1E X	2,7	3,6	3,3	3,6	4,2	16,6
TGX1910-14F X	2,8	3,1	10,7	4,2	3,3	-21,4
TGX1989-21F X	2,8	3,4	21,4	2,6	3,0	15,3
TGX1989-19F X	3,6	4,2	16,6	2,6	3,3	26,9
ES T	0,23	0,16		0,39	0,41	
ES X	0,66	0,47		1,12	1,16	
CV	20,85	14,77		20,53	21,66	
P	0,03	0,00		0,19	0,01	

ES = erreur standard X= Nouvelles entrées de variétés, non répétées dans chaque bloc.

T= Témoins répétés dans chaque bloc CV : coefficient de variation P= probabilité.

Le rendement en grain est significativement différent sous infection naturelle en 2013 ($P=0,03$) et en 2014 ($p=0,01$). Il varie de 2,3 t/ha (TGX1987-62F) à 3,7 t/ha (TGX1448-2E) en 2013. En 2014, le rendement est passé de 2 t/ha (TGX1989-21F) à 4,4 t/ha (TGX1910-2F) (Tableau 4). En condition inoculée, la différence de rendement est significative en 2013 ($P= 0,009$). Le rendement varie en 2013 entre 2,2 t/ha (TGX1835-10F) et 4,2 t/ha (TGX1989-19F).

En 2014, il est passé de 2t/ha (TGX1740-2F) à 4,5 t/ha (TGX1910-2F).

Vu, les résultats obtenus entre l'infection naturelle et l'inoculation au champ qui ne montrent pas une différence assez grande entre les rendements, une perte de rendement assez claire due à la maladie ne pourrait être déterminée. Aussi, nous n'avons aucune donnée sur le rendement potentiel des variétés sans infection.

Ainsi, aucune corrélation claire entre l'infection et le rendement ne pourrait être trouvée dans ces conditions.

L'analyse de corrélation révèle qu'il y a une corrélation positive non significative entre sévérité de la pustule exprimée par les valeurs d'AUSPC et le rendement en condition inoculée au cours des deux années ($r= +0,35$ en 2013; $r= + 0,12$ en 2014).

Discussion

Seize variétés de soja sont soumises à une inoculation artificielle en serre et à une inoculation naturelle et artificielle pour évaluer leur réaction à la pustule bactérienne et leur rendement en 2013 et 2014.

Suite à l'inoculation artificielle en serre, 2 variétés sont sensibles, 3 variétés sont moyennement sensibles, 9 variétés sont moyennement résistantes et 2 variétés sont résistantes. La variation de la sensibilité observée au sein des variétés peut s'expliquer par les caractéristiques génétiques de chaque variété et de l'habileté du pathogène à surmonter les conditions environnementales spécifiques de l'hôte et à réguler l'expression des gènes de virulence (18).

Aussi les interactions spécifiques entre isolat et variété pourraient expliquer cette différence de sensibilité entre variété.

Les variétés TGX1988-5F, TGX1910-14F, TGX1989-21F et TGX1989-19F moyennement résistants, ont montré des valeurs d'AUSPC élevées en 2013 et 2014 se retrouvant dans le même groupe que des variétés sensibles et moyennement sensibles. Ceci pourrait être dû au fait que certaines maladies sont parfois difficiles à évaluer à cause du fait que certaines variétés avec une résistance adéquate dans une zone pourraient devenir sensibles dans une autre (1). En effet, (3) et (7) ont montré que la diversité des réactions obtenues sous différents environnements pour une même variété est due aux réponses différentielles d'un même groupe de gènes ou à l'expression de différents groupes de gènes. Cette fluctuation de la sévérité au champ pourrait également être due aux conditions environnementales et aux types de variétés. *Xanthomonas* est un genre dont le développement exige de fortes conditions d'humidité, avec une température comprise entre 30-33°C (12). Cette condition est bien caractéristique de la zone Nord. Les variétés témoins ISRA25/72, JUPITER, TGX1985-11F ont développé des valeurs d'AUSPC similaires montrant qu'elles appartiennent à un même groupe de variétés.

Des variétés moyennement résistantes et résistants TGX1740-2F, TGX1835-10F, TGX1987-10F et TGX1740-2F en 2013 et TGX1987-62F en 2014 ont enregistré un faible rendement soit 2-2,3t/ha. Ceci pourrait être dû à une activité photosynthétique intense à cause d'une forte expression du mécanisme de résistance au dépend de l'énergie nécessaire au remplissage des gousses.

Ceci a été démontré par les résultats de Smedegaard-Petersen et Tolstrup (28) dans les interactions incompatibles entre le l'orge et l'oïdium de l'orge.

Des regains de rendement de 2,7 à 26% en 2013 et de 2,2 à 36,6% en 2014 ont été observés au niveau de certaines variétés de soja.

Celles ayant développé de grandes valeurs d'AUSPC seront classées dans le groupe des variétés tolérantes et celles ayant développé de faibles d'AUSPC seront rangées dans le groupe des variétés moyennement résistantes à résistantes.

La nécessité de rechercher d'autres variétés résistantes de soja au sein du pool des variétés améliorées est nécessaire et l'utilisation ces variétés pourraient être combinées avec les dates de semis afin d'assurer un contrôle effectif de la pustule bactérienne du soja.

Conclusion

Il a été montré au cours de cette étude que les variétés TGX1987-62F et TGX1990-15F plus résistantes aux symptômes sont adaptées pour la sélection, et les variétés TGX1989-19F, TGX1985-11F, TGX1440-1E, TGX1985-77F et TGX1910-14F à symptômes modérés et rendements élevés pourront être recommandées aux producteurs. Ces variétés pourraient être explorées à une échelle plus grande dans d'autres centres de productions pour aussi bien leur mécanisme de durabilité que leur efficacité dans la lutte contre la pustule bactérienne du soja.

Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil Scientifique de l'Université de Parakou pour le financement de la présente étude.

Références bibliographiques

- Bai G. & Shaner G., 1994, Scab of wheat: prospects for control, *Plant Disease*, **78**, 760-766.
- CaBEV, 2011, *Catalogue Béninois des Espèces Végétales*, 1^{er} éd septembre 2011. 34.
- Cockerham C.C., 1963, *Estimation of genetic variance components*, In: Statistical Genetics and Plant Breeding, Hanson W.D. & Robinson H.F., (eds.), Academic Science of National Research Council Publication, UK, 53-94.
- Dugje I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Bandyopadhyay R., Lava Kumar P. & Kamara A.Y., 2009, *Farmers' Guide to Soybean Production in Northern Nigeria*, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, 21.
- Egli D.B. & Bruening W., 1992, Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO, *Agric. & Forest Meteorol.*, **62**, 19-29.
- FAO, 2013, Disponible sur <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- Falconer D.S., 1990, Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance, *Genet. Res. Cambridge*, **56**, 57-70.
- Federer W.T., 1956, Augmented (or hoynuiaku) designs, *Hawaiian Plant Rec.*, **55**, 191-208.
- Hayward A. C., 1993, *The hosts of Xanthomonas*, Pages 1-17, In: *Xanthomonas*, Swings J.G. & Civerolo E.L., eds, Chapman & Hall, London.
- Hershman D.E., Hendrix J.W., Stuckey R.E., Bachi P.R. & Henson G., 1990, Influence of planting date and cultivar on soybean sudden death syndrome in Kentucky, *Plant Dis.*, **74**, 761-766.
- Hong J.K., Sung C.H., Kim D.K., Yun H.T., Jung W. & Kim K.D., 2012, Differential effect of delayed planting on soybean cultivars varying in susceptibility to bacterial pustule and wildfire in Korea, *Crop Prot.*, **42**, 244-249.
- Huang X., Zhai J., Luo Y. & Rudolph K., 2008, Identification of a highly virulent strain of *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*, *Eur. J. Plant Pathol.*, **122**, 461-469.
- Janse J.D., 2005, *Phytopathology: principles and practice*, CAB publishing, 360.
- Jeger M.J. & Viljanen-Rollinson S.L.H., 2001, The use of the area under the disease progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars, *Theor. Appl. Genet.*, **102**, 32- 40.
- Jung W.J., Park R.D., Mabood F., Souleimanov A. & Smith D.L., 2011, Effects of *Pseudomonas aureofaciens* 63-28 on defense responses in soybean plants infected by *Rhizoctonia solani*, *J. of Microbiol. Biotechnol.* **21**, 379-386.
- Kaewnum S., Prathuangwong S. & Burr T.J., 2005, Aggressiveness of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* isolates to soybean and hypersensitivity responses by other plant, *Plant Pathol.*, **54**, 409-415.
- Kueneman E.A., Root W.R., Dashiell K.E. & Hohenberg, 1984, Breeding soybean for the tropics capable of nodulating effectively with indigenous *Rhizobium* spp, *Plant Soil*, **82**, 387-396.
- Mekalanos J.J., 1992, Environmental signals controlling expression of virulence determinants in bacteria, *J. Bacteriol.*, **174**, 1-7.
- Narvel J.M., Jakkula L.R., Phillips D.V., Wang T., Lee S.H. & Boerma H.R., 2001, Molecular mapping of Rxp conditioning reaction to bacterial pustule in soybean, *J. Heredity*, **92**, 267-70,
- Ochoa-Acuña H.G., Bialkowski W., Yale G. & Hahn L., 2009, Toxicity of soybean rust fungicides to freshwater algae and *Daphnia magna*, *Ecotoxicol.*, **18**, 440-446.
- Prathuangwong S. & Amnuaykit K., 1987, Studies on tolerance and rate reducing bacterial pustule of soybean cultivars/lines, *Kasetsart J. Nat. Sci.*, **21**, 408-420.
- Prathuangwong S., Preecha C. & Thaveechai N., 1993, *Development standard method and format for measuring severity of soybean bacterial pustule*, In: Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology 1993, Montreal, Canada, Abstract **6,4.1**.
- Sang M.K., Kim J.D., Kim B.S. & Kim K.D., 2011, Root treatment with rhizobacteria antagonistic to *Phytophthora* blight affects anthracnose occurrence, ripening, and yield of pepper fruit in the plastic house and field, *Phytopathol.*, **101**, 666-678.

24. Shaner G. & Finney R.E., 1977, The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in known wheat, *Phytopathol.*, **67**, 1051-1056.
25. Sharma A., Nair P.M., Pawar S.E., 1993, Identification of soybean strains resistant to *X. campestris* pv. *glycines*, *Euphytica*, **67**, 95-99.
26. Sinclair J.B., 1999, *Bacterial pustule*, In: Hartman G.L., Sinclair J.B. & Rupe, J.B., (Eds.), Compendium of Soybean Disease, *Am. Phytopathol. Soci.*, St. Paul, MN, 6-7.
27. Scott R.A. & Milliken G.A., 1993, A SAS program for analyzing augmented randomized complete-block designs, *Crop Sci.*, **33**, 865-867.
28. Smedegaard-Petersen V. & Tolstrup K., 1985, The limiting effect of disease resistance on yield, *Annual Rev. Phytopathol.*, **23**, 475-490.
29. Suryadi Y., Suhendar M.A., Akhdiya A., Manzila I., Wawan, 2012, Evaluation of soybean germplasm for its resistance to several foliar pathogens in Indonesia, *J. Agric. Technol.*, **8**, 761-773.
30. Wolfinger R.D., Federer W.T. & Cordero-Brana O., 1997, Recovering information in augmented designs using SAS PROC GLM and PROC MIXED, *Agron. J.*, **89**, 856-859.
31. Wrather J.A., Anderson T.R., Arsyad D.M., Tan Y., Ploper L.D., Porta-Puglia A., Ram H.H. & Yorinori J.T., 2001, Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998, *Can. J. Plant Pathol.*, **23**, 115-121.
32. Zinsou V., Afouda L., Zoumarou-Wallis N., Pate-Bata T., Dannon F., Götz M. & Winter S., 2013, *Présence et caractérisation de Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, agent causal de la pustule bactérienne dans les savanes guinéenne et soudanienne du Bénin, CAMES – Premières journées scientifiques – Abidjan, 5, 6 et 7 décembre 2013, Communication 5.15, 55.

V.A. Zinsou, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

F. Afloukou, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

E. Sekloka, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

F. Dannon, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche, Université de Parakou, Parakou, Bénin.

N. Zoumarou-Wallis, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, Bénin.

L.A.C. Afouda, Béninois, PhD, Professeur, Université de Parakou, Bénin.

L. Dossou, Béninois, Ingénieur Agronome, Assistant de Recherche Université de Parakou, au LAReM3P, Parakou, Bénin.