



## Gestion intégrée du mildiou du mil en station au centre régional de recherche agronomique de Maradi (CERRA/Maradi) au Niger

Hayyo HALILOU <sup>1,2</sup>, Aboubacar KADRI <sup>1\*</sup> et Issa KARIMOU <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Département Productions Végétales, Faculté d'Agronomie,  
Université Abdou Moumouni de Niamey, BP: 10960 Niamey, Niger.

<sup>2</sup> Département Protection des végétaux, Laboratoire de phytopathologie, Institut de Recherche Agronomique  
du Niger (INRAN), Centre Régional de Recherche Agronomique de Maradi (CERRA/Maradi), Niger.

\*Auteur correspondant, E-mail: [abkadri\\_04@yahoo.fr](mailto:abkadri_04@yahoo.fr), Tél : (+227) 96 98 86 47

### RESUME

Le mil (*Pennisetum glaucum*) L.R.Br constitue 75% de la production céréalière du Niger. Cependant, son rendement est très faible dû à plusieurs types de contraintes. La maladie du mildiou du mil causé par un champignon *Sclerospora graminicola* (Sacc) Schroët, occupe une place importante. L'objectif de cette étude est de générer des combinaisons des méthodes de gestion intégrée du mildiou en vue d'améliorer le rendement du mil au Niger. Trois facteurs (variétés, densité du semis et fongicide) sont mis en jeu dans un dispositif expérimental split-plot en trois répétitions. Les données relatives à l'incidence 40 jours après semis, la sévérité du mildiou à la récolte et le rendement grain sont collectées et soumises à l'analyse de variance et au test des effets. L'étude a montré que la combinaison V3-DS2 dont les taux d'incidence et sévérité du mildiou du mil sont respectivement 0,5% et 0,74% est celle qui permet une augmentation significative du rendement grain qui passe de 591,7 kg / ha pour V3-DS1 à 1063,8 kg / ha pour V3-DS2. De même la combinaison V1-D2 est celle dont l'influence sur le mildiou du mil fait passer le rendement grain de 892,8 kg / ha pour V1-D1 à 1020,2 kg / ha pour V1-D2. Les interactions V3-DS2-D2 et V1-DS2-D2 sont les meilleures combinaisons enregistrant les plus grands rendements grains respectivement 1377 kg / ha et 1149 kg / ha. Il ressort de cette étude qu'outre la variété résistante, les combinaisons variété-densité du semis, variété-fongicide et variété-densité-fongicide peuvent être utilisées pour contrôler le mildiou du mil.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés** : Variété, densité, fongicide, incidence, sévérité.

## Integrated management of the downy mildew of the pearl millet in station at the Maradi regional center of agronomic research (CERRA/Maradi) in Niger

### ABSTRACT

Pearl millet (*Pennisetum glaucum*) L.R.Br accounts for 75% of Niger's cereal production. However, its yield is very low due to several types of constraints. Pearl millet downy mildew disease caused by a fungus *Sclerospora graminicola* (Sacc) Schroët is the most important. The objective of this study was to generate combinations of integrated pearl millet downy mildew management methods to improve pearl millet yield in Niger. Three factors (varieties, sowing density and fungicide) are involved in an experimental split-plot device in three replicates. Data on incidence 40 days after sowing, severity of downy mildew at harvest and grain yield

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.12>

3071-IJBSC

are collected and subjected to analysis of variance and effects testing. The study showed that the V3-DS2 combination whose pearl millet downy mildew incidence and severity rates are respectively 0,5% and 0,74%, is the one that allows a significant increase in grain yield from 591,7 kg / ha for V3-DS1 to 1063,8 kg / ha for V3-DS2. Similarly, the combination V1-D2 is the one whose influence on the pearl millet downy mildew increases the grain yield from 892,8 kg / ha for V1-D1 to 1020,2 kg / ha for V1-D2. The V3-DS2-D2 and V1-DS2-D2 interactions are the best combinations recording the highest grain yields respectively 1377 kg / ha and 1149 kg / ha. This study shows that in addition to the resistant variety, the variety-density of sowing, variety-fungicide and variety-density-fungicide combinations can be used to control pearl millet downy mildew.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Variety, density, fungicides, incidence, severity.

## INTRODUCTION

Classée septième céréale au monde (Kadidiatou, 2014), le mil (*Pennisetum glaucum* (Leek) R.Br.) est la culture sahélienne par excellence. Originaire d'Afrique et domestiqué il y'a plus de 4000 ans (Manning et al., 2011; Clotault et al., 2012), le mil est cultivé dans les régions arides et semi-arides de l'Afrique et de l'Inde essentiellement pour l'alimentation humaine, comme fourrage et matériaux de construction (Sumathi et al., 2010, Kholova et Vadez, 2013, Bashir et al., 2014, Kanan et al., 2014). En Afrique, cette culture s'étend sur plus de 13 millions d'hectares (Syngenta, 2013), où près de 500 millions de personnes en dépendent pour leur survie (Kadidiatou, 2014). Dans certains pays du Sahel, le mil représente plus 75% des céréales cultivées (Goudia et al., 2016). Principale source d'énergie de millions de personnes, le mil est la base de l'alimentation quotidienne des 50 millions d'habitants du Sahel où il est le pilier de la sécurité alimentaire. Au Niger, le deuxième pays producteur d'Afrique après le Nigeria, le mil couvre plus de 65% de la surface cultivée (IRD, 2009) et constitue 75% de la production céréalière totale (Soler et al., 2008). Cependant sa production est insuffisante pour satisfaire les besoins des populations à cause des rendements à l'hectare très faibles (450 kg / ha) en milieu paysan (M A, 2015). La réduction du rendement du mil est causée non seulement par la baisse progressive de la fertilité des sols, la mise en culture des terres marginales, l'absence de jachère, un bilan hydrique déficitaire (BA

et al., 2014 ; Zakari et al., 2016,) mais aussi par des pressions parasitaires (Nomaou et al., 2015) tels que les maladies.

Parmi les maladies du mil, le mildiou du mil dont l'agent causal est un champignon dénommé *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroët est la plus importante occasionnant des dégâts considérables. C'est une maladie hautement destructrice et répandue dans la plupart des zones de culture du mil de l'Asie et de l'Afrique (Aparna, 2003). La maladie peut occasionner des pertes de rendement de l'ordre de 20 à 40% (Thakur et al., 2008). Dans certaines régions, la maladie cause de 10 à 50% de perte de rendement chez le mil (Kumar et Manga, 2011) et se caractérise par la transformation partielle ou totale de l'épi en organes foliacés ou la mort totale de la plante.

La recherche des voies et moyens pour diminuer ou remédier aux problèmes causés par le mildiou du mil au Niger fait l'objet de cette étude. En effet, le contrôle du mildiou du mil doit se faire durant toute la phase végétative du mil, phase pendant laquelle le pathogène effectue plusieurs cycles de vie. Pour ce faire, plusieurs méthodes peuvent être envisagées en fonction du niveau socio-économique des paysans. L'objectif poursuivi par cette étude est de générer des combinaisons de méthodes de gestion intégrée du mildiou du mil en vue d'augmenter le rendement du mil au Niger. L'étude est basée sur l'utilisation des variétés résistantes ou tolérantes, du fongicide et de différentes densités du semis.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Site de l'étude

L'étude a été conduite en station au Centre Régional de Recherche Agronomique de Maradi (CERRA/Maradi) située à une altitude de 380 m entre 13 ° 27 ' de latitude Nord et 7 ° 6 ' de longitude Est. Le climat de la zone est de type sahélo-soudanienne avec des précipitations variant de 350 à 650 mm de pluies par an. L'étude a été réalisée au cours de la campagne agricole 2016 en saison hivernale.

### Matériel

Le matériel végétal est composé de trois variétés du mil cultivées au Niger dont une variété locale, Matan-hatsi et deux variétés améliorées inscrites dans le catalogue national à savoir la SOSAT-C88 (variété résistante) et la ZATIB (variété tolérante). Le fongicide utilisé pour le traitement de semence est Apron Star 42WS qui est une combinaison de trois matières actives (20% de Thiaméthoxam, 20% de Métalaxyl-M et 2% de Difénoconazole). La dose de traitement recommandée par le fabricant est de 10 g de matière active pour 4 kg de semences.

### Méthodes

#### Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un split-plot à trois niveaux de parcelles expérimentales : des grandes parcelles ou répétitions, des parcelles intermédiaires ou blocs et des petites parcelles. Chaque répétition couvre une superficie de 19 m x 14 m = 266 m<sup>2</sup>. L'écartement entre les répétitions est de 2 m. L'essai a une superficie totale de 19 m x 46 m = 874 m<sup>2</sup>. Les petites parcelles ont une surface 4 m x 4 m = 16 m<sup>2</sup> chacune et l'écartement entre les parcelles est de 1 m. L'essai comprend trois répétitions. Trois facteurs sont mis en jeu :

Le facteur variété composé de trois variétés : V1 = Matan-hatsi, V2 = SOSAT-C88 et V3 = ZATIB ; le facteur densité de semis avec deux modalités : DS1 = 1 m x 1 m et DS2 = 0,8 m x 0,8 m et le facteur produit chimique avec deux doses : D1 = sans fongicide et D2 = avec

fongicide. Dans une répétition, les blocs recevant les variétés sont randomisés. A l'intérieur du bloc, les petites parcelles reçoivent de façon randomisée les traitements qui sont des combinaisons du facteur densité du semis et du facteur produit chimique.

#### Collecte des données

Les données relatives à l'incidence du mildiou sur les variétés 40 jours après semis (JAS) et la sévérité du mildiou à la récolte sont collectées. L'incidence est exprimée par la formule suivantes (James, 1983):

$$\text{Incidence(\%)} = \frac{\text{Nombre de poquets attaqués}}{\text{Nombre de poquets total}} * 100.$$

La sévérité de l'infestation de la maladie est déterminée par la formule de Ball (1983)

$$\text{S(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^5 Y_i(i-1)}{N*4} \times 100 \text{ où}$$

i est la catégorie de l'échelle variant de 1 à 5.

i = 1 : Pas de symptômes ;

i = 2 : Symptômes uniquement sur les talles nodales ;

i = 3 : Symptômes sur les talles principales mais plus de 50% des épis ne sont pas attaqués ;

i = 4 : Symptômes sur les talles principales avec plus de 50% des épis attaqués ;

i = 5 : Toutes les talles sont attaquées de sorte qu'il n'y ait pas des épis productifs.

Y<sub>i</sub> = Nombre de plants infestés de la catégorie i considérée ;

N : Nombre total de plants observés.

Après la récolté, les épis sont séchés puis battus et les grains pesés afin de déterminer le rendement grains.

#### Analyse des données

Les données relatives à l'incidence, à la sévérité du mildiou et au rendement grain ont été traité à l'aide du logiciel Genstat 14<sup>ème</sup> édition. Dans un premier temps, une comparaison des facteurs et de leurs combinaisons a été réalisée par la méthode d'analyse de variance pour identifier la présence ou non de différences significatives (au seuil de 5% de probabilité) pour l'incidence et la sévérité du mildiou. Ensuite, un test de Duncan (au seuil 5%) a été effectué pour déterminer les effets

des facteurs et de leurs interactions sur l'incidence et la sévérité du mildiou et également sur le rendement grain.

## RÉSULTATS

### Comparaison des facteurs et leurs combinaisons pour l'incidence et sévérité du mildiou du mil

L'analyse de variance de paramètre montre une différence significative au seuil de 1% ( $P < 0,01$ ) pour l'incidence et au seuil de 5% ( $P < 0,05$ ) pour la sévérité entre les variétés (Tableau 1). La variation de la densité du semis n'est pas significative pour les deux paramètres alors que la variation de dose du fongicide est significative au seuil de 5% pour l'incidence ( $P < 0,05$ ). Cependant, une différence significative est observée au niveau des combinaisons de la densité du semis avec le fongicide au seuil de 5% ( $P < 0,05$ ) pour l'incidence et au seuil de 1% ( $P = 0,006$ ) pour la sévérité à la récolte (Tableau 1). L'étude a montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les combinaisons variétés-densité, variétés-fongicide et variétés-densité-fongicide pour l'incidence et la sévérité du mildiou.

### Effets des facteurs sur l'incidence et la sévérité du mildiou

L'analyse des effets des facteurs montre que tous les facteurs ont des effets négatifs sur l'incidence et la sévérité du mildiou (Tableau 2). Pour les variétés, la SOSAT-C88 a plus d'effet négatif (- 1,97 ; - 0,53) respectivement pour l'incidence et la sévérité suivie de la ZATIB (- 0,87 ; - 0,04). La variété locale Matan-hatsi enregistre un léger effet positif sur l'incidence et la sévérité (2,84 ; 0,57). La variation de densité de semis tout comme le traitement chimique de semence influence négativement le développement du mildiou du mil (Tableau 2).

### Effets des interactions des facteurs sur l'incidence, la sévérité du mildiou et le rendement grain

L'interaction variété-densité a un effet négatif sur le développement du mildiou du

mil. Cette combinaison a plus d'effet avec la SOSAT-C88 (V2-DS2) qui enregistre les plus faibles taux d'incidence (0,52%) et de sévérité (0,13%) suivi de la ZATIB (V3-DS2) avec respectivement pour l'incidence (0,50%) et la sévérité (0,75%) (Figure 1A). Bien que la combinaison V2-DS2 ait plus d'effet négatif sur le développement du mildiou, c'est la combinaison V3-DS2 qui a donné le plus grand rendement grain (1063,8 kg / ha) suivie de V1-DS2 avec 1056,2 kg / ha (Figure 1B).

L'effet de traitement de semence avec le fongicide sur l'incidence et la sévérité du mildiou est plus remarquable au niveau de la variété locale (V1). Ainsi la combinaison V1-D2 a enregistré des taux d'incidence (3,67%) et de sévérité (0,91%) plus faible que V1-D1 dont les taux sont respectivement de 7,21% et 1,80% pour l'incidence et la sévérité du mildiou. Ceci a permis d'augmenter significativement le rendement grain qui passe de 892,8 kg / ha pour V1-D1 à 1020,2 kg / ha pour V1-D2 (Figure 2B). Par ailleurs, le traitement de semence de SOSAT-C88 (variété reconnue comme résistante au mildiou) avec le produit chimique (V2-D2) n'a pas d'effet négatif significatif sur le mildiou (Figure 2A). Tout comme avec la densité, c'est au niveau de la combinaison V3-D2 que le plus grand rendement grain est observé (1021,3 kg / ha) suivie de la combinaison V1-D2 avec 1020,2 kg / ha (Figure 2B).

La combinaison de trois facteurs a un effet négatif sur l'incidence et la sévérité du mildiou. Ainsi, les meilleures combinaisons sont V3-DS1-D2, V2-DS1-D2, V2-DS2-D1 et V3-DS2-D1 dont les taux d'incidence et de sévérité sont nuls. Pour la variété locale Matan-hatsi, c'est la combinaison V1-DS1-D2 qui a les plus faibles taux d'incidence (2,89%) et de sévérité (0,72%) (Figure 3A). Pour le rendement grain, les meilleures combinaisons sont V3-DS2-D2 avec 1377 kg / ha et V1-DS2-D2 avec 1149 kg / ha (Figure 3B).

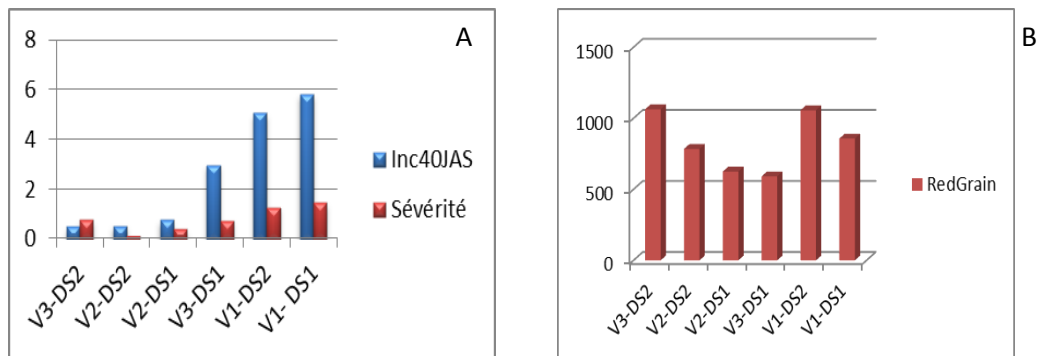
**Tableau 1:** Analyse de variance de l'incidence du mildiou 40JAS, sévérité du mildiou à la récolte.

Facteurs et combinaisons	d.f	Incidence 40JAS		Sévérité à la récolte	
		F	Pro	F	Pro
Variétés	2	10.86	<.001**	4.77	0.018*
DS	1	1.69	0.205 <sup>ns</sup>	0.25	0.620 <sup>ns</sup>
PC	1	5.55	0.027*	1.70	0.205 <sup>ns</sup>
Variétés-DS	2	0.58	0.568 <sup>ns</sup>	0.08	0.919 <sup>ns</sup>
Variétés-PC	2	1.21	0.314 <sup>ns</sup>	0.84	0.445 <sup>ns</sup>
DS-PC	1	7.09	0.014*	8.90	0.006**
Variétés-DS-PC	2	0.51	0.604 <sup>ns</sup>	1.18	0.324 <sup>ns</sup>

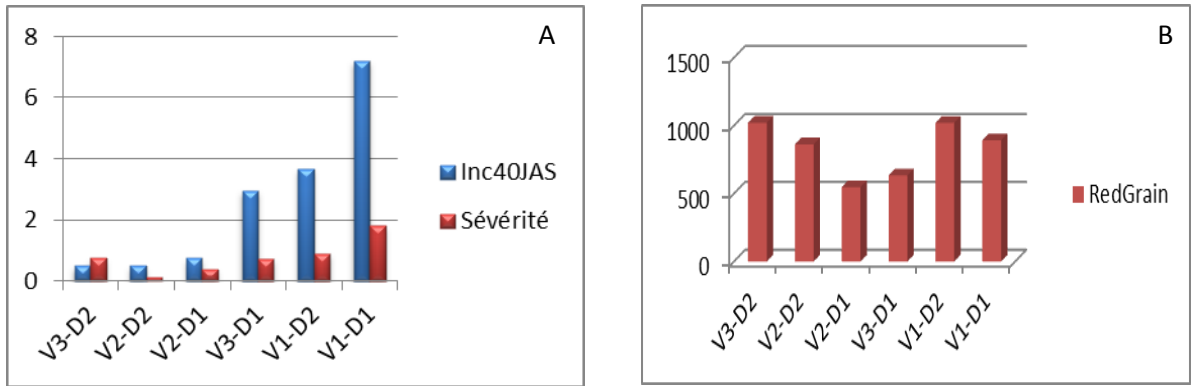
NB: \*\* = significative à 1%; \* = significative à 5%; ns = non significative

**Tableau 2:** Effet des facteurs sur l'incidence et la sévérité du mildiou.

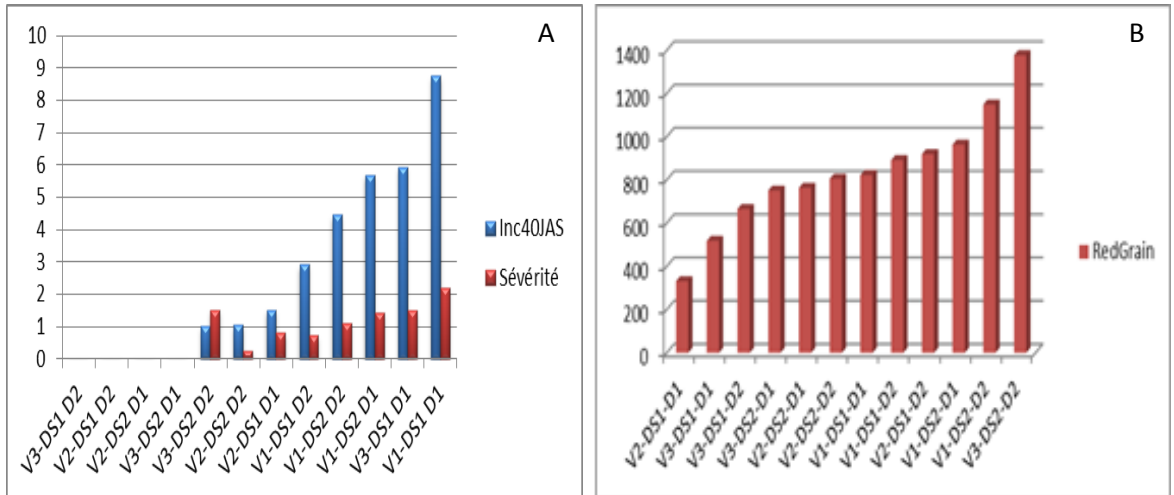
Facteurs	Incidence 40JAS	Sévérité à la récolte
SOSAT-C88	-1.97	-0.53
ZATIB	-0.87	-0.04
Matan-hatsi	2.84	0.57
DS	-1.15	-0.15
PC	-2.08	-0.38



**Figure 1 :** Effet de la combinaison variété-densité sur l'incidence et la sévérité du mildiou (A) ; Effet de la combinaison variété-densité sur le rendement grain (B).



**Figure 2 :** Effet de la combinaison variété-PC sur l'incidence et la sévérité du mildiou (A) ; Effet de la combinaison variété-PC sur le rendement grain (B).



**Figure 3 :** Effet des combinaisons de trois facteurs sur l'incidence et la sévérité du mildiou (A) ; Effet des combinaisons de trois facteurs sur le rendement grain (B).

## DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la variété SOSAT-C88 a maintenu sa résistance au mildiou (INRAN, 2012) puisqu'elle a enregistré les plus grands effets négatifs sur l'incidence (-1,97) et la sévérité (- 0,53) très faibles (Tableau 2). De ce fait, l'utilisation des variétés résistantes contribue à diminuer les taux d'incidence et de sévérité du mildiou. Ainsi, l'utilisation des variétés résistantes est la méthode la plus économique et la plus réalisable pour lutter contre le mildiou du mil (Sudhakar et al.,

2012). Plusieurs auteurs (Rao et al., 2005 ; Sharma et al., 2007 ; Shelke et al., 2010 ; Ati et al., 2013 ; Ati et al., 2015) ont étudié la résistance variétale au mildiou du mil et ont prouvé chacun en ce qui lui concerne et en fonction de la zone d'étude qu'il y'a des variétés hautement résistantes, résistantes, sensibles et hautement sensibles. L'étude a montré aussi que le traitement chimique de semence ainsi que l'utilisation de forte densité du semis ont des effets négatifs sur l'incidence et la sévérité du mildiou (Tableaux 2). La combinaison variété-fongicide est plus

efficace avec la variété locale Matan-hatsi (V1) où les taux d'incidence et de sévérité du mildiou sont presque réduits de moitié. En effet, la combinaison V1-D1 a enregistré des taux d'incidence de 7,21% et de sévérité de 1,80% contre un taux d'incidence de 3,67% et de sévérité de 0,91% pour V1-D2. Ceci a permis d'augmenter significativement le rendement grain qui passe de 892,8 kg/ha pour V1-D1 à 1020,2 kg/ha pour V1-D2 (Figure 2). L'effet de densité de semis sur le mildiou du mil est quant à lui plus remarquable au niveau de la ZATIB (V3). La combinaison V3-DS1 a enregistré un taux d'incidence du mildiou de 5,81% contre 0,5% pour V3-DS2 ce qui permet de rehausser le rendement grain de 591,5 kg/ha pour V3-DS1 à 1063,8 kg/ha pour V3-DS2 (Figure 1). Ces résultats sont contraires aux propos d'Idder (2015) affirmant qu'un semis dense peut entraîner une augmentation de l'humidité dans la masse de la végétation et du coût favoriser le développement de certaines maladies fongiques comme le mildiou du mil. Afiniki (2005) a montré aussi que le traitement de semence avec le métalaxyl à la dose de 2 g / kg de semence réduit considérablement l'incidence du mildiou du mil. De même, Pooja et al. (2016) ont obtenu une réduction significative de l'incidence du mildiou de 1,1% après traitement de semence avec le métalaxyl 35SD + pulvérisation de propiconazole 25% EC ; de 1,2% avec le métalaxyl 35 SD ; 1,6% avec du métalaxyl 35SD + pulvérisation de mancozeb et de 1,7% après traitement des graines avec métalaxyl 35SD + pulvérisation de Ridomil MZ 72%. La plupart des entreprises de semences traitent la graine avec un fongicide chimique systémique métalaxyl pour protéger la culture contre le mildiou (Thakur et al., 2003 ; Rao et al., 2007). Toutefois, l'effet du traitement chimique varie avec les variétés et n'est pas efficace avec la variété résistante. La combinaison des trois facteurs (variété-densité-fongicide) a une influence négative sur le développement du mildiou du mil et permet d'augmenter le rendement grain. Les meilleures combinaisons qui réduisent

considérablement l'incidence et la sévérité du mildiou tout en augmentant de manière significative le rendement grain sont V1-DS2-D2, V3-DS2-D2 et V3-DS1-D2 (Figure 3).

### Conclusion

Il ressort de cette étude que le meilleur moyen de contrôle du mildiou du mil est l'utilisation des variétés résistantes. Cependant, la combinaison variété-densité, variété-fongicide, bien que variant avec les variétés, peut être utilisée pour contrôler le mildiou du mil. Ainsi, les meilleures combinaisons sont V3-DS2 pour variété-densité et V1-D2 pour variété-fongicide. L'interaction variété-densité-fongicide pourrait être aussi un moyen de contrôle du mildiou du mil. De toutes les interactions, V1-DS2-D2, V3-DS2-D2 et V3-DS1-D2 sont celles qui enregistrent des taux d'incidence et de sévérité du mildiou moins important tout en augmentant le rendement grain.

### CONFLIT D'INTERETS

Nous, auteurs, déclarons que nous n'avons aucun conflit d'intérêts.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

HH a supervisé l'ensemble du travail, a collecté les données sur le terrain, a réalisé la saisie des données, a contribué à l'analyse et interprétation des données et a rédigé le manuscrit. KA a contribué par le conseil technique et la correction du manuscrit. IK a supervisé le travail, a contribué par le conseil technique.

### REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude nous tenons à remercier l'équipe du laboratoire de phytopathologie du CERRA Maradi et par la voie de KARIMOU Issa, les personnels de l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN), en particulier ceux du CERRA Maradi.

### REFERENCES

Afiniki BZ. 2005. Early sowing and metalaxyl seed treatment reduced incidence of

- pearl millet downy mildew [*Sclerospora graminicola* (sacc.)] in Samaru, Nigeria. *Journal of Plant Protection Research*, **45**(3): 163-169, [http://www.plantprotection.pl/PDF45\(3\)/JPPR](http://www.plantprotection.pl/PDF45(3)/JPPR)
- Aparna V. 2003. Phylogenetic analysis of *Sclerospora graminicola* using internal transcribed spacer region-2. Master thesis, Texas A&M University, Texas, p. 51
- Ati HM, Aba DA, Ishiyaku MF, Katung MD. 2013. Screen house Evaluation of Pearl Millet Genotypes for Downy Mildew Incidence. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, **7**(6): 582-588.
- Ati HM, Aba DA, Ishiyaku MF, Katung MD. 2015. Field Evaluation of Some Pearl Millet Genotypes for Downy Mildew (*Sclerospora graminicola*) Resistance and Yield. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, **8**(6): 01-06. DOI: 10.9790/2380-08620106
- Ba MF, Samba SAN, Bassene E. 2014. Influence des bois rameaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J.F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (Dc) Hochst sur la productivité du mil, *Pennisetum glaucum* (L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(3): 1039-1048. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.18>
- Ball SL. 1983. Pathogenic variability of downy mildew (*Sclerospora graminicola*) on pearl millet. I. Host cultivar reactions to infection by different pathogen isolates. *Annals of Applied Biology*, **102**(2): 257-264. DOI:10.1111/j.1744-7348.1983.tb02692.x
- Bashir EM, Ali AM, Ali AM, Melchinger AE, Parzies HK, Haussman BIG. 2014. Characterization of Sudanese pearl millet germplasm for agro-morphological traits and grain nutritional values. *Plant Genetic Resources*, **12**(1): 35-47. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S1479262113000233>
- Clotault J, Thuiller AC, Buiron M, Mita SD, Couderc M, Haussman BIG, Mariac C, Vigouroux Y. 2012. Evolutionary history of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and selection on flowering genes since its domestication. *Molecular Biology and Evolution*, **29**(4): 1199-1212. DOI: 10.1093/molbev/msr287
- Goudia DB, Issa K, Tom HC. 2016. Grain iron density variability among new farmer-preferred experimental millet varieties from Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(4): 1865-1868. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.34>
- Idder IH. 2015. Conception de lutte (luttés intégrée et globale). Polycopié, Université Kasdi Merbah, Ouargla, p.15
- INRAN (Institut National de Recherche Agronomique du Niger). 2012. Catalogue national des espèces et variétés végétales (CNEV), p.276
- IRD (Institut de Recherche pour le Développement). 2009. Le mil, aliment du futur au Sahel. Fiche n°325 - Juillet 2009. 2 p
- James WC. 1983. *Crop loss assessment*. In *Plant Pathologist*, (Pook book 2nd edn), Johnson A, Boths C (eds). Common wealth Mycological Institute : Kew ; 130-140.
- Kadidiatou HM. 2014 .Construction d'une carte génétique pour le mil, *Pennisetum glaucum* L.R.Br, par une approche de génotypage par séquençage (GBS). Mémoire, Université de Laval, Québec, Canada, p.111
- Kannan B, Senapathy S, Raj AGB, Chandra S, Muthiah A, Dhanapal AP, Hash CT. 2014. Association analysis of SSR markers with phenology, grain, and stover-yield related traits in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *The Scientific World Journal*, **14** p, DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/562327>
- Kholová J, Vadez V. 2013. Water extraction under terminal drought explains the genotypic differences in yield, not the anti-oxidant changes in leaves of pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Functional Plant Biology*, **40**(1): 44-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/FP12181>
- Kumar A, Manga VK. 2011. Downy mildew of pearl millet. *Bioresearch Bulletin*, **4**: 182-200,
- Manning K, Pelling R, Higham T, Schwenniger JL, Fuller DQ. 2011. 4500-Year old domesticated pearl millet



- (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) from the Tilemsi Valley, Mali: New insights into an alternative cereal domestication pathway. *Journal of Archaeological Science*, **38**(2): 312-322, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.007>
- Ministère de l'Agriculture, 2015. Résultats Définitifs de la Campagne Agricole d'Hivernage 2014 et Perspectives Alimentaires 2014-2015. Direction des statistiques, 32p.
- Nomaou DL, Yajji G, Abdourahmane TD, Rabah L, Babou AB, Patrice D, Adamou DT, Nassirou AM, Ambouta JMK. 2015. Effet des touffes de *Hyphaene thebaica* (Mart) sur la production du mil dans la région de Maradi (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(5): 2477-2487. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.19>
- Pooja S, Kushal R, Anil K. 2016. Evaluation of fungicides against downy mildew of pearl millet caused by *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet. *Scholarly Journal of Agricultural Science*, **6**(3): 94-97, <http://www.scholarly-journals.com/SJAS>
- Rao VP, Kadwani DL, Sharma YK, Sharma R, Thakur RP. 2007. Prevalence of pearl millet downy mildew, *Sclerospora graminicola* in Gujarat and pathogenic characterization of its isolates. *Indian Journal of Plant Protection*, **35**: 291-295, <http://indianjournals.com>
- Rao VP, Thakur RP, Rai KN, Sharma YK. 2005. Downy Mildew Incidence on Pearl Millet Cultivars and Pathogenic Variability among Isolates of *Sclerospora graminicola* in Rajasthan. *Journal of SAT Agricultural Research*, **1**(1): 1-4, <http://ejournal.icrisat.org>
- Sharma YK, Yadav SK, Khairwal IS. 2007. Evaluation of pearl millet germplasm lines against downy mildew incited by *Sclerospora graminicola* in western Rajasthan. *SAT eJournal*, **3**(1): 1-2, <http://ejournal.icrisat.org>
- Shelke GV, Chavan AM. 2010. Improvement of agronomically desirable genotypes for downy mildew disease resistance in Pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] By recombination breeding. *Journal of Ecobiotechnology*, **2**/1:16-20, <http://journal.ecobiotechnology.com>
- Soler CMT, Maman N, Zhang X, Mason Sc, Hoogenboom G. 2008. Determining optimum planting dates for pearl millet for two contrasting environments using a modelling approach. *Journal of Agricultural Science*, **146**: 445-459. DOI: 10.1017/S0021859607007617
- Sudhakar R, Narayana RP, Bharathi V. 2012. Downy Mildew Disease of Pearl Millet (Bajra): Infection, Damage and Management Strategies. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, **3**(1): 103-108, [http://www.pphouse.org/admin/uploadpdf/20\\_IJBSM\\_March%202012](http://www.pphouse.org/admin/uploadpdf/20_IJBSM_March%202012)
- Sumathi P, Sumamth M, Veerabhadhiran P. 2010. Genetic Variability for Different Biometrical Traits in Pearl Millet Genotypes (*Pennisetum glaucum* (L) R.Br.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, **1**(4): 347-440, <https://sites.google.com/site/ejplantbreeding/vol-1-4>
- Syngenta, 2013. Enhancement of the set of microsatellite markers for improving pearl millet breeding efficiency in Africa and Asia. <http://www.syngentafoundation.org/index.cfm>
- Thakur RP, Rai KN, Khairwal IS, Mahala RS. 2008. Strategy for downy mildew resistance breeding in pearl millet in India. *Journal of SAT Agricultural Research* **6**: 1-11.
- Thakur RP, Rao VP, Amruthesh KN, Shetty HS, Datar VV. 2003. Field surveys of pearl millet downy mildew-Effects of hybrids, fungicide and cropping sequence. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, **33**(3): 387-394, <http://oar.icrisat.org/JMycolPIPathol>
- Zakari AH, Mahamadou B, Toudou A. 2016. Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique : défis et perspectives. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(3): 1262-1272. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.28>