

Effet de la fumure minérale et du traitement chimique de semences sur le mildiou (*Sclerospora graminicola* Sacc. Schroët.) du mil (*Pennisetum glaucum* L. Br.) au Niger

[Effect of mineral fertilizer and chemical seed treatment on downy mildew (*Sclerospora graminicola* Sacc. Schroët.) of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. Br.) in Niger]

Hayyo Halilou¹, Aboubacar Kadri², and Issa Karimou¹

¹Département Protection des végétaux, Laboratoire de phytopathologie, Centre Régional de Recherche Agronomique de Maradi (CERRA, Maradi), Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niger

²Département Productions Végétales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP: 10960 Niamey, Niger

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Pearl millet is the first cereal produced and consumed in Niger. However, its production hampered by several types of constraints including pearl millet downy mildew. The objective of this study is to assess the effect of variety + mineral fertilizer and variety + seed treatment combinations for the integrated management of pearl millet downy mildew. A Split-split-plot device with three factors (variety, mineral fertilizer and fungicide) is used. Data on the incidence and the severity of downy mildew are collected and analyzed. The incidence of the disease reached $8.13 \pm 2.24\%$ and $5.24 \pm 1.69\%$ after application of 2 g of DAP and 6 g of $N_{15}P_{15}K_{15}$ per packet respectively compared with $12.41 \pm 2.43\%$ for the control. The application of $N_{15}P_{15}K_{15}$ has more effect with ICRI-Tabi and that of DAP with ICMV-IS 89305. The severity of the disease went from 9.65% for the control at 5.27% after treatment of seeds with Apron Star42W. This effect is more remarkable at the level of HKP and ICRI-Tabi. The study has shown that the application of mineral fertilizer to seedlings reduces the infection of pearl millet downy mildew. In addition, $N_{15}P_{15}K_{15}$ has more effect than DAP. Likewise, seed treatment with Apron Star42W significantly reduces the attack of the disease.

KEYWORDS: Incidence, severity, variety, millet, mildew, integrated management, Niger.

RESUME: Le mil occupe la première place des céréales produites et consommées au Niger. Cependant, sa production est entravée par plusieurs types de contraintes dont le mildiou du mil figure au premier plan. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des combinaisons variété + fumure minérale et variété + traitement de semences pour la gestion intégrée du mildiou du mil. Un dispositif Split-split-plot avec trois facteurs (variété, fumure minérale et fongicide) a été utilisé. Les données sur l'incidence et la sévérité du mildiou sont collectées et analysées. L'incidence de la maladie atteint $8,13 \pm 2,24\%$ et $5,24 \pm 1,69\%$ après application respectivement de 2 g de DAP et de 6 g par poquet de $N_{15}P_{15}K_{15}$ contre $12,41 \pm 2,43\%$ pour le témoin. L'application de $N_{15}P_{15}K_{15}$ a plus d'effet avec ICRI-Tabi et celle de DAP avec ICMV-IS 89305. La sévérité du mildiou passe de 9,65% pour le témoin à 5,27% après traitement de semences avec Apron Star42W. Cet effet est plus remarquable au niveau des variétés HKP et ICRI-Tabi. L'étude a montré que l'application de la fumure minérale au semis permet de réduire l'infection du mildiou du mil. Par ailleurs, le $N_{15}P_{15}K_{15}$ a plus d'effet que le DAP. De même, le traitement de semence avec Apron Star42W réduit significativement l'attaque de la maladie.

MOTS-CLEFS: Incidence, sévérité, variété, mil, mildiou, gestion intégrée, Niger.

1 INTRODUCTION

Le mil, céréale originaire d'Afrique et domestiqué il y'a plus de 4000 ans [1], [2] est cultivé dans les régions arides et semi-arides de l'Afrique et de l'Inde essentiellement pour l'alimentation humaine et accessoirement comme fourrage et matériau de construction [3], [4], [5], [6]. Au Niger la culture du mil est pratiquée dans toutes les zones de production. Avec une production de 3.886.079 tonnes en 2016 [7], le mil occupe la première place des céréales produites et consommées dans le pays.

Cependant, le rendement en milieu paysan est faible (450 kg / ha), [8]. Ce faible rendement est dû par un certain nombre de contraintes parmi lesquelles on peut citer les maladies et les insectes ravageurs [9].

En ce qui concerne les maladies, le mildiou causé par un champignon, *Sclerospora graminicola* Sacc. Schroët est la maladie du mil la plus importante en Inde et en Afrique de l'Ouest [10], [11]. C'est une maladie hautement destructrice et répandue dans la plupart des zones de culture du mil de l'Asie et de l'Afrique [12], [13]. Le mildiou du mil peut occasionner des pertes de rendement de l'ordre de 20 à 40% [13], [14]. Au Niger, il est présent dans toutes les zones de production du mil et attaque la plante dès le stade plantule par les feuilles, la tige et l'épi. La maladie se caractérise par la transformation partielle ou totale de l'épi en organes foliacés ou la mort totale de la plante [15].

Plusieurs études ont été réalisées sur les méthodes de contrôle du mildiou du mil tant qu'en Afrique qu'en Inde. Ses études ont trait dans leurs grandes majorités sur la résistance variétale et le contrôle chimique [16], [17], [18], [19], [20], [21], [11], [22], [23].

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des combinaisons variété + fumure minérale et variété + traitement chimique de semences pour la gestion intégrée du mildiou du mil.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE EXPERIMENTAL

L'étude a été menée 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 sol est de texture sablonneuse avec un faible niveau de fertilité. Le climat de la zone est de type sahélo-soudanienne caractérisé par une longue saison sèche d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse de Juin à Septembre. Le régime annuel des vents se caractérise par l'alternance de la mousson et l'harmattan. Il est aussi observé des tempêtes de sable en début de la saison pluvieuse. Les précipitations varient entre 350 et 650 mm de pluie par an [24].

2.2 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est composé de quatre variétés du mil cultivées au Niger dont une variété locale, Matan-hatsi et trois variétés améliorées inscrites dans le catalogue national des espèces et variétés végétales à savoir ICMV-IS 89305, ICRI-Tabi et HKP [25].

La locale, Matan-hatsi est une variété issue du village de Soumarana dans la commune rurale de Safo. Elle est caractérisée par un tallage excessif, des épis longs, des grains rouges et un cycle semi-maturité d'environ 70 jours [26].

ICMV-IS 89305 est une variété obtenue par sélection récurrente des croisements entre les variétés ¾ HKB-78, Souna-3 et CIVT. C'est une variété à épi long, un cycle semi-maturité de 95 à 100 jours et un rendement potentiel de 2 t / ha. Elle est sensible à la mineuse de l'épi mais tolérante aux foreurs de tiges et au mildiou.

ICRI-Tabi est issue de la variété B9_Tabi de Boni au Mali après plusieurs épurations. La plante a une longueur d'épi de 40 cm de forme cylindrique et très compacte. La maturité intervient entre 80 et 90 jours après semi avec un rendement potentiel est de 1,5 t / ha. Elle est résistante aux foreurs de tiges, à la mineuse de l'épi et au mildiou [27].

HKP est une population sélectionnée caractérisée par un cycle semi-maturité de 75 à 90 jours, une longueur d'épi intermédiaire et un rendement potentiel de 1,5 à 2,5 t / ha. Elle est sensible au charbon et au mildiou, peu sensible à la mineuse de l'épi [25].

2.3 FONGICIDE

Le fongicide utilisé pour le traitement de semence est Apron Star 42WS composé de trois matières actives: Thiaméthoxam (20%), Métalaxyl-M (20%) et Difénoconazole (2%). La dose utilisée est celle recommandée par le fabricant (2,5 g / Kg de semences).



Figure 1 : Sachets du fongicide Apron Star42W

2.4 FUMURE MINERALE

Elle est composée de deux types de fertilisants: l'engrais NPK ($N_{15}P_{15}K_{15}$) et le phosphate de diammonium (DAP ou $N_{18}P_{46}K_0$). Ils sont appliqués au semis en raison de 6 g par poquet pour le $N_{15}P_{15}K_{15}$ et de 2 g par poquet pour le $N_{18}P_{46}K_0$.



Figure 2 : Les fumures minérales utilisées : (a) DAP ($N_{18}P_{46}K_0$), (b) NPK (15-15-15)

2.5 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental est un split-split-plot à trois répétitions. Chaque répétition couvre une superficie de 28 m x 18,4 m = 515,2 m². L'écartement entre les répétitions est de 1,6 m. Les parcelles élémentaires ont une surface de 4 m x 4 m = 16 m² chacune et sont espacées de 0,8 m. L'essai a une superficie totale de 28 m x 58,4 m = 1635,2 m². Les facteurs sont:

Les variétés: Matan-hatsi, ICMV-IS 89305, ICRI-Tabi et HKP;

Le fongicide: D1 = Sans fongicide et D2 = avec fongicide;

La fumure minérale: F1 = Témoin, F2 = DAP et F3 = NPK.

Dans une répétition, les blocs reçoivent de façon randomisée le facteur variété. A l'intérieur du bloc, les parcelles élémentaires reçoivent de façon randomisée les traitements qui sont des combinaisons des deux facteurs: le facteur produit chimique et le facteur fumure minérale.

2.6 INSTALLATION DE L'ESSAI

L'expérimentation a été réalisée sur trois années successives de 2016 à 2018 en saison hivernale. Les différentes opérations culturales d'entretien à savoir un démariage et deux sarclages sont faites. Le démariage est effectué à un plant par poquet deux semaines après la levée.

2.7 COLLECTE DES DONNEES

Les données relatives à l'incidence du mildiou 40 jours après semi (40 JAS) et la sévérité du mildiou sont collectées. L'incidence est exprimée par la formule [28] suivante:

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

A la maturité physiologique, la sévérité d'infection du mildiou du mil est déterminée en utilisant la formule [29] suivante:

$$\text{Sévérité (\%)} = \frac{n_1(1-1) + n_2(2-1) + n_3(3-1) + n_4(4-1) + n_5(5-1)}{N(5-1)} * 100$$

Où n1 à n5 sont les nombres des plants malades dans l'échelle variant de 1 à 5.

1: Pas de symptômes,

2: Symptômes uniquement sur les talles nodales,

3: Symptômes sur les talles principales mais plus de 50% des épis ne sont pas atteints,

4: Symptômes sur les talles principales avec plus de 50% des épis atteints,

5: Toutes les talles sont atteintes de sorte qu'il n'y ait pas des épis productifs,

N: Nombre total de plants observés.

Pour l'étude du comportement des variétés testées face au mildiou du mil, l'échelle de notation de [30] basée sur l'incidence de la maladie a été adoptée:

0-5% = Hautement Résistant (HR), 5-10% = Résistant, 10-25% = Modérément Résistant (MR),

25-50% = Modérément sensible (MS), 50-80% = Sensible (S), > 80% = Hautement sensible (HS).

2.8 ANALYSE STATISTIQUE

Les données collectées ont été saisies sur un tableur Excel (Microsoft Office Excel 2013). Elles ont été ensuite traitées et soumises à l'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (Variété et traitement de semences avec Apron Star42W). Les moyennes ont été comparées par le test de Student Newman-Keuls au seuil $\alpha = 5\%$. Le logiciel GenStat 14^{ème} édition a été utilisé pour faire ces analyses. Les histogrammes, les courbes et les tableaux ont été construits avec le tableur Excel en utilisant les moyennes et les écarts types.

3 RESULTATS

3.1 EFFET DES VARIETES SUR LE MILDIOU DU MIL

La figure 3 présente les résultats obtenus de l'effet des variétés sur le développement du mildiou. La variété Matan-hatsi a enregistré la plus faible incidence du mildiou qui est de $1,91 \pm 1,07\%$ en 2016 et $3,42 \pm 1,09\%$ en 2017 (Figure 3a). La sévérité d'attaque de la maladie est de $1,17 \pm 0,49\%$ en 2016 et $1,82 \pm 1,08\%$ en 2017 (Figure 3b). Par contre, en 2018, la variété HKP a eu la plus faible incidence ($8,60 \pm 2,55\%$) et la sévérité de la maladie ($5,92 \pm 1,93\%$).

L'analyse de variance a montré une différence significative ($P < 0,001$) entre les quatre variétés au seuil de 5%.

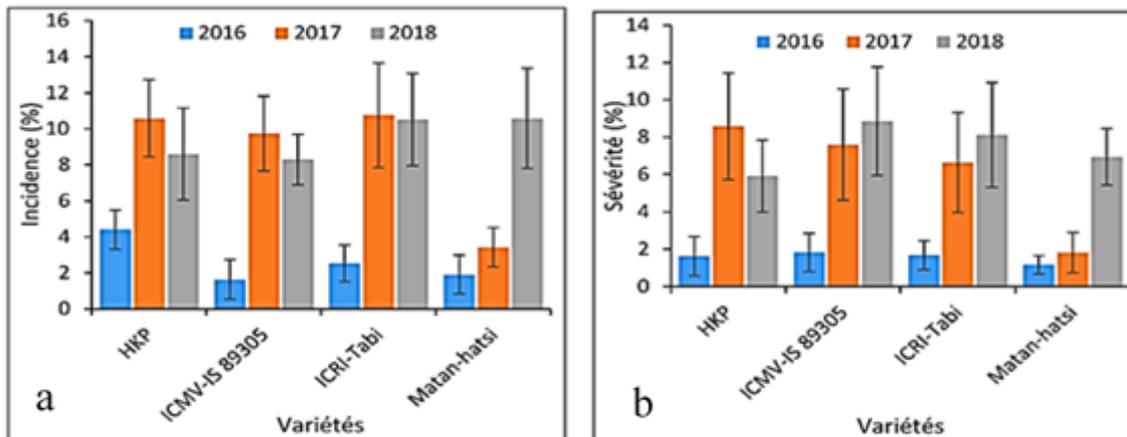


Figure 3 : Effet des variétés sur l'incidence (a) et de la sévérité (b) du mildiou du mil

3.2 EFFET DE LA FUMURE MINERALE SUR LE MILDIOU DU MIL

L'application de 2 g du phosphate de diammonium ($DAP = N_{18}P_{46}K_0$) et de 6 g de $N_{15}P_{15}K_{15}$ par poquet au semis a permis de réduire l'incidence du mildiou. Elle atteint $8,13 \pm 2,24\%$ et $8,34 \pm 3,24\%$ pour le DAP; $5,24 \pm 1,69\%$ et $9,97 \pm 2,93\%$ pour $N_{15}P_{15}K_{15}$ respectivement en 2017 et en 2018 contre $12,41 \pm 2,43\%$ et $10,26 \pm 2,91\%$ pour le témoin (Figure 4a). La sévérité de la maladie s'est réduite pour atteindre $6,07 \pm 1,74\%$ et $5,38 \pm 1,71\%$ pour le DAP; $4,54 \pm 1,52\%$ et $8,57 \pm 2,43\%$ pour le $N_{15}P_{15}K_{15}$ contre $7,88 \pm 1,06\%$ et $8,44 \pm 2,75\%$ pour le témoin respectivement en 2017 et en 2018 (Figure 4b).

L'analyse de variance a aussi montré qu'il y a une différence significative ($P < 0,001$) au seuil de 5% entre les trois variantes d'engrais minéraux.

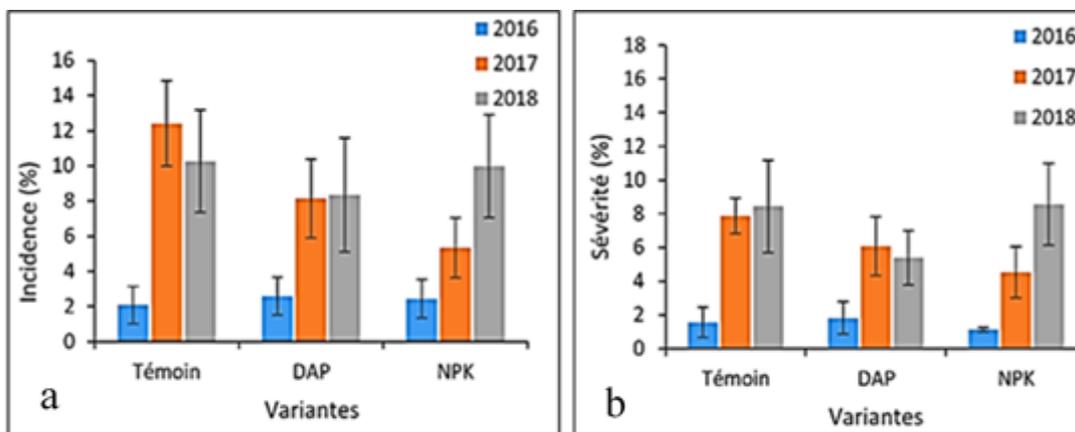


Figure 4 : Effet de la fumure minérale sur l'incidence (a) et de la sévérité (b) du mildiou du mil

3.3 EFFET DU TRAITEMENT DES SEMENCES AVEC LE FONGICIDE APRON STAR42W SUR LE MILDIOU DU MIL

Le traitement des semences avec Apron Star42W à la dose de 2,5 g/Kg des semences a eu un effet sur le mildiou. Il a permis de réduire l'incidence et la sévérité de la maladie. A titre illustratif, en 2018, l'incidence du mildiou passe de 10,71% pour le témoin à 8,43% après traitement avec Apron Star42W (Figure 5a). La sévérité de la maladie atteint 5,27% après l'application d'Apron Star42W contre 9,65% pour le témoin (Figure 5b).

L'analyse statistique a révélé qu'il y a des différences significatives ($P < 0,001$) au seuil de 5% entre les deux doses du fongicide.

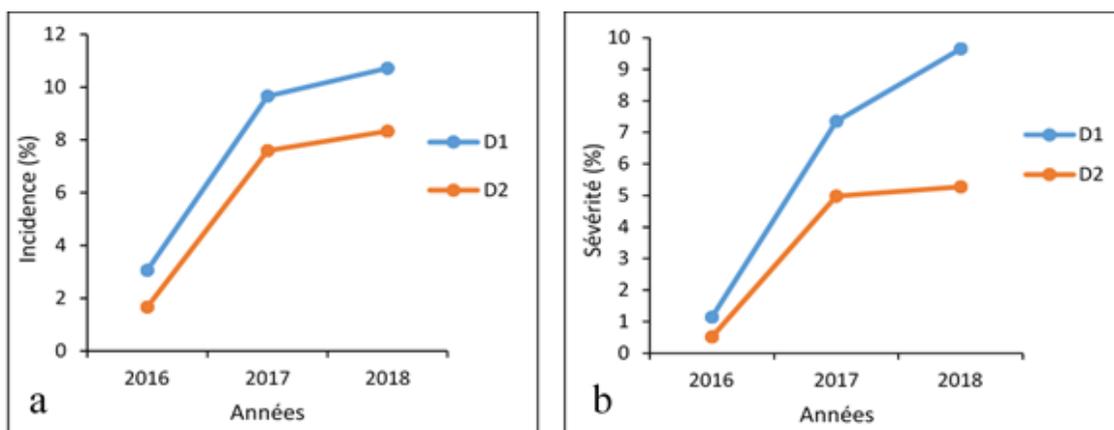


Figure 5 : Effet du traitement de semences avec Apron Star42W sur l'incidence (a) et la sévérité (b) du mildiou du mil

3.4 EFFETS COMBINÉS DES VARIÉTÉS ET DE LA FUMURE MINÉRALE SUR LE MILDIOU DU MIL

La combinaison variété + fumure minérale a eu un effet sur l'incidence et la sévérité du mildiou (Tableau 1). L'application de 6 g de N₁₅P₁₅K₁₅ (F3) par poquet a eu plus d'effet avec les variétés HKP et ICRI-Tabi. Pour la variété HKP, les pourcentages du couple incidence-sévérité de la maladie atteignent (8,06%; 7,31%) après application de N₁₅P₁₅K₁₅ (F3) contre (14,59%; 11,96%) pour le témoin (F1) en 2017. La variété ICRI-Tabi a enregistré des taux du couple incidence-sévérité du mildiou de (2,10%; 2,58%) après application de N₁₅P₁₅K₁₅ (F3) contre (20,22%; 8,87) pour le témoin (F1) en 2017. L'application de 2 g du DAP (F2) a eu plus d'effet avec la variété ICMV-IS 89305 dont les taux d'incidence et de sévérité de la maladie sont de 8,20% et 8,20% contre 12,66% et 8,83%) pour le témoin (F1). L'application de la fumure minérale par poquet au semis n'a pas eu d'effet significatif sur l'infestation du mildiou du mil avec la variété Matan-hatsi.

Tableau 1. Effet combiné des variétés et de la fumure minérale sur le mildiou du mil.

Variantes	2016		2017		2018	
	Incidence (%)	Sévérité (%)	Incidence (%)	Sévérité (%)	Incidence (%)	Sévérité (%)
HKP*F1	4,86 ^a	1,38 ^{bcd}	14,59 ^d	11,96 ^d	10,70 ^{bc}	9,29 ^{ab}
HKP*F2	4,49 ^{cd}	1,83 ^d	9,10 ^c	6,48 ^{bc}	7,69 ^a	4,99 ^a
HKP*F3	3,85 ^{cb}	1,68 ^{cd}	8,06 ^c	7,31 ^{bc}	7,40 ^a	3,45 ^a
ICMV-IS 89305*F1	0,76 ^{ab}	0,33 ^{ab}	12,66 ^d	8,83 ^c	7,41 ^a	6,38 ^{ab}
ICMV-IS 89305*F2	0,67 ^{ab}	0,29 ^{ab}	8,20 ^c	8,20 ^{bc}	7,48 ^a	5,66 ^a
ICMV-IS 89305*F3	3,45 ^{cd}	1,86 ^d	8,34 ^c	5,76 ^b	9,98 ^{ab}	14,52 ^b
ICRI-Tabi*F1	2,68 ^{bcd}	0,48 ^{ab}	20,22 ^e	8,87 ^c	13,19 ^c	10,41 ^{ab}
ICRI-Tabi*F2	2,43 ^{bc}	0,60 ^{abc}	9,93 ^c	8,48 ^{bc}	7,26 ^a	5,40 ^a
ICRI-Tabi*F3	2,44 ^{bc}	0,95 ^{abcd}	2,10 ^a	2,58 ^a	11,11 ^{bc}	8,54 ^{ab}
Matan-hatsi*F1	0,00 ^a	0,00 ^a	2,16 ^a	1,83 ^a	9,72 ^{ab}	7,64 ^{ab}
Matan-hatsi*F2	2,74 ^{bcd}	0,50 ^{ab}	5,27 ^b	1,12 ^a	10,92 ^{bc}	5,46 ^a
Matan-hatsi*F3	0,00 ^a	0,00 ^a	2,83 ^{ad}	2,50 ^a	11,39 ^{bc}	7,73 ^{ab}
Moyenne	2,37*	0,83^{NS}	8,63***	6,16***	9,53***	7,46^{NS}
CV (%)	74,9	106,0	26,4	34,8	22,5	87,7

F1 = Témoin, F2 = Phosphate d'ammonium (DAP), F3 = N₁₅P₁₅K₁₅

NS = Non significatif, * = Significatif, ** = Très significatif, *** = Hautement significatif

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents

3.5 EFFETS COMBINES DES VARIETES ET DU FONGICIDE APRON STAR42W SUR LE MILDIOU DU MIL

Les résultats du traitement des semences avec Apron Star42W sont consignés dans le tableau 2. L'application de 2,5 g/Kg de semences d'Apron Star42W a permis de réduire l'incidence et la sévérité du mildiou. Cette réduction est plus remarquable au niveau des variétés HKP et ICRI-Tabi. Ainsi, la combinaison HKP + Apron star42W (D2) a enregistré des taux d'incidence et de sévérité de la maladie de (2,50%; 0,77%) en 2016 et (5,96%; 2,62%) en 2018. Pour la combinaison ICRI-Tabi + Apron Star42W (D2), les taux d'incidence et de sévérité sont (2,28%; 0,39%) en 2016 et (7,44%; 4,28%) en 2018. Ces taux sont nettement inférieurs à ceux de leurs des témoins (D1) respectifs. Le traitement des semences de la variété locale, Matan-hatsi n'a pas eu d'effet significatif sur le mildiou du mil au cours de ces trois années d'expérimentation.

Tableau 2. Effet combiné des variétés et du fongicide Apron Star42W sur le mildiou

Variantes	2016		2017		2018	
	Incidence (%)	Sévérité (%)	Incidence (%)	Sévérité (%)	Incidence (%)	Sévérité (%)
HKP*D1	6,29 ^c	2,48 ^c	9,80 ^c	10,26 ^d	11,24 ^{cd}	9,20 ^{abc}
HKP*D2	2,50 ^b	0,77 ^{ab}	11,36 ^c	6,91 ^c	5,96 ^a	2,62 ^a
ICMV-IS 89305*D1	1,47 ^{ab}	0,77 ^{ab}	9,18 ^c	8,01 ^c	8,41 ^b	11,27 ^{bc}
ICMV-IS 89305*D2	1,79 ^{ab}	0,88 ^{ab}	10,29 ^c	7,18 ^c	8,17 ^b	6,44 ^{abc}
ICRI-Tabi*D1	2,76 ^b	0,97 ^b	15,91 ^d	10,04 ^d	13,60 ^e	11,95 ^c
ICRI-Tabi*D2	2,28 ^b	0,39 ^{ab}	5,59 ^b	3,24 ^b	7,44 ^{ab}	4,28 ^{ab}
Matan-hatsi*D1	1,71 ^{ab}	0,33 ^{ab}	3,73 ^{ab}	1,08 ^a	9,59 ^{bc}	6,16 ^{abc}
Matan-hatsi*D2	0,11 ^a	0,00 ^a	3,11 ^a	2,55 ^{ab}	11,76 ^{de}	7,73 ^{abc}
Moyenne	2,37^{**}	0,83[*]	8,63^{***}	6,16^{***}	9,52^{***}	7,46^{NS}
CV (%)	73,1	107	26,4	34,8	22,5	87,7

D1 : Témoin ; D2 = Traitement de semence avec Apron StarW2

NS = Non significatif, * = Significatif, ** = Très significatif, *** = Hautement significatif

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents

3.6 EFFETS COMBINES DES VARIETES, DE LA FUMURE MINERALE ET DU TRAITEMENT DES SEMENCES AVEC APRON STAR42W SUR LE MILDIOU DU MIL

La combinaison des variétés, de la fumure minérale et d'application du fongicide a permis de réduire de façon significative l'incidence et la sévérité du mildiou (Tableau 3). A titre illustratif, les pourcentages des couples incidence-sévérité de la maladie pour la variété HKP après apport de 2 g du DAP (F2) par poquet au semis et le traitement des semences avec Apron Star42W (D2) atteignent (1,44%; 0,94%), (10,00%; 1,66%) et (6,94%; 2,91%) respectivement en 2016, 2017 et en 2018 contre (4,16%; 1,85%), (11,18%; 9,43%) et (17,59%; 15,50%) pour les témoins. De même, l'application de 6 g du NPK (F3) par poquet au semis et Apron Star42W (D2) sur la variété HKP a réduit l'incidence et la sévérité du mildiou dont les pourcentages des couples sont (0,51%; 0,46%), (6,08%; 4,58%) et (7,13%; 1,89%) respectivement en 2016, 2017 et en 2018 contre (4,16%; 1,85%), (11,18%; 9,43%) et (17,59%; 15,50%) pour les témoins. L'effet combiné de la variété Matan-hatsi, de la fumure minérale et d'application du fongicide n'est observé qu'en 2017.

Tableau 3. Incidence et sévérité du mildiou en fonction de la combinaison variété + fumure minérale + Apron Star42W

Variantes	2016		2017		2018	
	Incidence (%)	Sévérité (%)	Incidence (%)	Sévérité (%)	Incidence (%)	Sévérité (%)
Matan-hatsi*F1*D1	0,00 ^a	0,00 ^a	0,33 ^a	0,66 ^{ab}	6,94 ^{abc}	6,38 ^{ab}
Matan-hatsi*F2*D2	0,35 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	15,84 ^{ghi}	7,82 ^{ab}
Matan-hatsi*F3*D2	0,00 ^a	0,00 ^a	5,33 ^{bcd}	4,66 ^{bcd}	6,94 ^{bc}	6,48 ^{ab}
ICMV-IS 89305*F1*D1	1,53 ^{abc}	0,66 ^{abc}	8,66 ^{defg}	5,33 ^{cde}	6,34 ^{abc}	5,65 ^{ab}
ICMV-IS 89305*F2*D2	0,37 ^a	0,35 ^{ab}	6,22 ^{bcd}	6,22 ^{def}	9,40 ^{cdef}	7,73 ^{ab}
ICMV-IS 89305*F3*D2	4,99 ^{defg}	2,30 ^{cb}	8,00 ^{cdefg}	3,00 ^{abcd}	6,62 ^{abc}	4,47 ^{ab}
ICRI-Tabi*F1*D1	4,44 ^{cdefg}	0,96 ^{abc}	26,4 ^l	9,74 ^{fgh}	16,66 ^{hi}	15,27 ^{bc}
ICRI-Tabi*F2*D2	2,91 ^{abcde}	0,72 ^{abc}	2,77 ^{ab}	1,73 ^{abc}	2,88 ^a	2,44 ^{ab}
ICRI-Tabi*F3*D2	3,00 ^{abcde}	0,46 ^{ab}	0,00 ^a	0,00 ^a	9,72 ^{cdef}	4,86 ^{ab}
HKP*F1*D1	4,16 ^{bcdef}	1,85 ^{bcd}	11,18 ^{gh}	9,43 ^{fgh}	17,59 ^l	15,50 ^{bc}
HKP*F2*D2	1,44 ^{abc}	0,94 ^{abc}	10,00 ^{efgh}	1,66 ^{abc}	6,94 ^{abc}	2,91 ^{ab}
HKP*F3*D2	0,51 ^a	0,46 ^{ab}	6,08 ^{bcde}	4,58 ^{bcde}	7,13 ^{bc}	1,89 ^a
Moyenne	2,37^{***}	0,83^{NS}	8,63^{***}	6,16^{***}	9,52^{***}	7,46^{NS}
CV (%)	73,1	107,0	26,4	34,8	22,5	87,7

NB : F1 = Témoin, F2 = Phosphate d'ammonium (DAP), F3 = N₁₅P₁₅K₁₅, D1 = Témoin,

D2 = Traitement de semences avec Apron Star 42W

NS = Non significatif, * = Significatif, ** = Très significatif, *** = Hautement significatif

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents

4 DISCUSSIONS

L'étude a montré que toutes les variétés utilisées sont résistantes au mildiou du mil. Les variétés ICMV-89305 (tolérante) et ICRI-Tabi (résistante) au mildiou du mil [25] ont confirmé leur résistance en enregistrant des taux d'incidence inférieurs à 10%. La variété HKP bien que sensible au mildiou [25] s'est révélée résistante dans cette étude avec une incidence de la maladie de 4,40±1,09 en 2016, 10,59±2,15 en 2017 et 8,60±2,55 en 2018. La variété locale Matan-hatsi s'est révélée hautement résistante avec une incidence de 1,91±1,07 en 2016, 3,42±1,09 en 2017 et modérément résistante en 2018 avec une incidence du mildiou de 10,59±2,78. Cet état de fait peut s'expliquer par l'effet de traitement chimique des semences. Les travaux de [31] ont montré que le traitement des semences des variétés sensibles avec le fongicide Apron plus, réduit considérablement l'incidence du mildiou du mil. Ce résultat peut aussi s'expliquer par le fait qu'au cours des deux premières années d'expérimentation, l'infestation du mildiou est faible de manière générale ou par l'effet date du semis. Ainsi, les semis sont intervenus le 29 Juin 2016, le 14 Juin 2017 et le 24 juin 2018 correspondant respectivement au semis tardive et semis intermédiaire [32]. En effet, les études de [32] sur l'incidence des maladies du mil relative à la date de semis fait ressortir l'effet date du semis sur l'incidence des maladies étudiées. Pour le mildiou du mil, les plages d'incidences sont de 1 à 5% pour le semis précoce (fin Mai - 10 juin), 6 à 10% pour le semis intermédiaire (11 Juin – troisième semaine du mois de Juin) et 26 à 50% pour le semis tardif (dernière semaine du mois de juin – deuxième semaine du mois de Juillet).

L'application de 2 g de phosphate de diammonium (DAP = N₄₆P₁₈K₀) et de 6 g de N₁₅P₁₅K₁₅ par poquet au semis permet de réduire l'infestation du mildiou. Il ressort de cette étude que l'engrais N₁₅P₁₅K₁₅ a plus d'effet sur le développement de la maladie que le phosphate de diammonium. Pour l'ensemble des variétés testées, l'application de 2 g du phosphate de diammonium (DAP) a eu plus d'effet avec la variété ICMV-IS 89305 (8,20%) contre 12,66%) pour le témoin en 2017. Le DAP

étant plus riche en azote que le $N_{15}P_{15}K_{15}$, les résultats de la présente étude montrent qu'à une certaine dose, l'azote favorise le développement du mildiou du mil. L'effet stimulateur de l'azote sur l'épidémie des pathologies végétales a été déjà rapporté. C'est le cas de la Pyriculariose, une maladie fongique du riz, préoccupante en écologie pluviale en Côte d'Ivoire. Il a été montré que le développement de cette maladie est favorisé par des doses élevées d'azote [33]. Les riziculteurs du périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali attribuaient déjà dans les années 1990, la forte pression de la Panachure jaune à l'application de l'urée [34].

Le traitement de semences avec le fongicide Apron Star 42W à la dose de 2,5 g/Kg permet de diminuer l'incidence et la sévérité du mildiou du mil [35]. ont montré que le traitement de semences avec Apron 35 SD à la dose de 6 g/Kg de semences diminue l'incidence du mildiou 40 JAS (1,30%) contre 5,01% pour le témoin. L'expérience de [16] sur des hybrides sensibles a démontré que le traitement des semences avec Apron 35 SD enregistre les plus faibles taux d'incidences (15-90%) contre 20-100% pour le témoin.

Le traitement des semences avec Apron Star42W à raison de 2,5 g/Kg de semences et l'application du phosphate de diammonium (DAP = $N_{18}P_{46}K_0$) ou de $N_{15}P_{15}K_{15}$ permet de diminuer l'infestation du mildiou du mil. Ainsi, l'application de 2 g de DAP par poquet au semis combinée à l'application de 2,5 g/Kg de semences d'Apron Star42W a permis de réduire l'incidence de la maladie au niveau de la variété HKP qui est de 1,44%, 10,00% et 6,94% contre 4,16%, 11, 18% et 17,59% pour le témoin respectivement en 2016, 2017 et 2018. Pour la même variété, l'application de 6 g de $N_{15}P_{15}K_{15}$ combinée à l'application 2,5 g/Kg de semences d'Apron Star42W, l'incidence du mildiou atteint 0,51%, 6,08% et 7,13% contre 4,16%, 11, 18% et 17,59% pour le témoin. Pour la variété ICRI-Tabi, l'application de 2 g de DAP par poquet au semis et l'application 2,5 g/Kg de semences d'Apron Star42W a plus d'effet sur l'incidence du mildiou avec 2,91%, 2,77% et 2,88% contre 4,44%, 26,40% et 16,66% pour le témoin respectivement en 2016, 2017 et en 2018.

5 CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les variétés Matan-hatsi et ICVM-IS 89305 qui ont les plus faibles incidence peuvent être utilisées pour le contrôle de cette maladie. Le traitement des semences avec Apron Star42W réduit les taux d'infestations du mildiou. L'étude a montré aussi que le DAP et le NPK peut être utilisée pour diminuer la pression de la maladie. L'application de NPK est plus efficace pour le contrôle du mildiou que celle de DAP. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les variétés HKP et ICRI-Tabi. La combinaison variété + fongicide + fumure minérale ont donné des résultats prometteurs pour le contrôle du mildiou. L'application de NPK combinée au traitement des semences avec Apron Star42W a plus d'effet avec les variétés ICMV-IS 89305 et HKP. L'application de DAP combiné au traitement de semences est plus efficace avec la variété ICMV-IS 89305 pour le contrôle de la maladie.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient le Centre Régional de Recherche Agronomique (CERRA) de Maradi en général et en particulier, le laboratoire de phytopathologie du dit Centre pour leurs appuis en matériel végétal et terrains pour la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] K. Manning, R. Pelling, T. Higham, J.L. Schwenniger, D.Q. Fuller, "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*, vol. 38, no. 2, pp. 312-322, 2011.
- [2] J. Clotault, A.C Thuiller., M. Buiron, S.D Mita., M. Couderc, B.I.G. Haussman, C. Mariac, Y. Vigouroux, "Evolutionary history of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and selection on flowering genes since its domestication", *Molecular Biology and Evolution*, vol. 29, no. 4, pp. 1199-1212, 2012.
- [3] P. Sumathi, M. Summate, P. Veerabhadhira, "Genetic Variability for Different Biometrical Traits in Pearl Millet Genotypes (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.)", *Electronic Journal of Plant Breeding*, vol. 1, no.4, pp. 347-440, 2010.
- [4] J. Kholova, V. Vadez, "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*, vol. 40, no. 1, pp. 44-53, 2013.
- [5] E.M. Bashir, A.M. Ali, A.M. Ali, A.E. Melchinger, H.K. Parzies, B.I.G. Haussman, "Characterization of Sudanese pearl millet germplasm for agro-morphological traits and grain nutritional values", *Plant Genetic Resources*, vol. 12, no. 1, pp. 35-47, 2014.
- [6] B. Kannan, S. Senapathy, A.G.B. Raj, S. Chandra, A. Muthiah, A.P. Dhanapal, C.T. Hash, " 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, 2014.
- [7] FAOSTAT: 2018. FAO.doc_12_Mars_2018_12h12.doc. www.fao.org/faostat/fr/.
- [8] M.A. (Ministère de l'Agriculture), Résultats Définitifs de la Campagne Agricole d'Hivernage 2014 et Perspectives Alimentaires 2014-2015, Direction des statistiques, 32 p, 2015.
- [9] D. Lakshmana, "Genetic diversity heterocyst and combining ability studies involving diverse sources of cytoplasmic genetic male sterility in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.]", PhD thesis, Dharwad University, Dharwad, 168 p, 2008.
- [10] S. Jogaiah, K.S. Amanda, S.H. Shekar, "Characterization of downy mildew isolates of *Sclerospora graminicola* by using differential cultivars and molecular markers", *Journal of Cell and Molecular Biology*, vol. 7, no. 1, pp. 41-55, 2008.
- [11] R. Sudhakar, P.N. Reddy, V. Bharathi, "Downy Mildew Disease of Pearl Millet (Bajra): Infection, Damage and Management Strategies", *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, vol. 3, no. 1, pp. 103-108, 2012.
- [12] V. Aparna, "Phylogenetic analysis of *Sclerospora graminicola* using internal transcribed spacer region-2", Master thesis, Texas A&M University, Texas, 51 p, 2003.
- [13] R.P. Thakur, K.N. Rai, I.S. Khairwal, R.S. Mahala, "Strategy for downy mildew resistance breeding in pearl millet in India", *Journal of SAT Agricultural Research*, vol. 6, pp. 1-11, 2008.
- [14] G.V. Shelke, A.M. Chavan, "Improvement of agronomically desirable genotypes for downy mildew disease resistance in Pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] By recombination breeding", *Journal of Ecobiotechnology*, vol. 2, no. 1, pp. 16-20, 2010.
- [15] R.P. Thakur, R. Sharma, V.P. Rao, Screening Techniques for Pearl Millet Diseases. Information Bulletin N°89. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 56 p, 2011.
- [16] R.P. Thakur, V.P. Rao, K.N. Amruthesh, H.S. Shetty, V.V. Datar, "Field surveys of pearl millet downy mildew-Effects of hybrids, fungicide and cropping sequence", *Journal of Mycology and Plant Pathology*, vol. 33, no. 3, pp. 387-394, 2003.
- [17] A.B. Zarafi, "Early sowing and métalaxyl seed treatment reduced incidence of pearl millet downy mildew [*Sclerospora graminicola* (sacc.)] in Samaru, Nigeria", *Journal of Plant Protection Research*, vol. 45, no. 3, pp. 163-169, 2005.
- [18] V.P. Rao, R.P. Thakur, K.N. Rai, Y.K. Sharma, "Downy Mildew Incidence on Pearl Millet Cultivars and Pathogenic Variability among Isolates of *Sclerospora graminicola* in Rajasthan", *Journal of SAT Agricultural Research*, vol. 1, no. 1, pp. 1-4, 2005.
- [19] Y.K. Sharma, S.K. Yadav, I.S. Khairwal, "Evaluation of pearl millet germplasm lines against downy mildew incited by *Sclerospora graminicola* in western Rajasthan", *SAT eJournal*, vol. 3, no. 1, pp. 1-2, 2007.
- [20] A.B. Zarafi, "Assessment of pearl millet genotypes for resistance to downy mildew (*Sclerospora graminicola*) under field conditions in Nigeria", *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 29, no. 4, pp. 155-171, 2007.
- [21] J.P. Wilson, M.D. Sanogo, S.K. Nutsugah, I. Angarawai, A. Fofana, H. Traore, I. Ahmadou, F.P. Muuka, "Evaluation of pearl millet for yield and downy mildew resistance across seven countries in sub-Saharan Africa", *African Journal of Agricultural Research*, vol. 3, no. 5, pp. 371-378, 2008.
- [22] H.M. Ati, D.A. Aba, M.F. Ishiyaku, M.D. Katung, "Field Evaluation of Some Pearl Millet Genotypes for Downy Mildew (*Sclerospora graminicola*) Resistance and Yield", *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, vol. 8, no. 6, pp. 01-06. 2015.
- [23] S. Pooja, R. Kushal, K. Anil, "Evaluation of fungicides against downy mildew of pearl millet caused by *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet", *Scholarly Journal of Agricultural Science*, vol. 6, no. 3, pp. 94-97, 2016.

- [24] H. Halilou, A. Kadri, I. Karimou, "Gestion intégrée du mildiou du mil en station au centre régional de recherche agronomique de Maradi (CERRA/Maradi) au Niger", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 6, pp. 2704-2712, 2017.
- [25] INRAN (Institut National de Recherche Agronomique du Niger), *Catalogue national des espèces et variétés végétales (CNEV)*, 276 p, 2012.
- [26] H. Halilou, A. Kadri, I. Karimou, M.O. Zakari, "Gestion intégrée des foreurs de tiges du mil à Maradi, Niger", *J. Appl. Biosci.*, vol. 126, pp. 12665-12674, 2018.
- [27] FAO, *Catalogue Ouest Africain des espèces et variétés végétales. Mil-Sorgho*. Rome 2008, 27 p, 2008.
- [28] James W.C., *Crop loss assessment*, In: A. Johnson, C. Boths (Eds.), *Common wealth Mycological Institute*, Kew: *Plant Pathologist*, pp. 130-140, 1983.
- [29] R.J. Williams, "Downy mildews of tropical cereals", *Advances in Plant Pathology*, vol. 2, pp. 1-103, 1984.
- [30] S.L. Ball, "Pathogenic variability of downy mildew (*Sclerospora graminicola*) on pearl millet, I, Host cultivar reactions to infection by different pathogen isolates", *Annals of Applied Biology*, vol. 102, pp. 257-264, 1983.
- [31] ROCAFREMI, *Sélection et Mise à Disposition des Paysans de Variétés et de Semences Appropriées. Des Résultats du Projet P1: 1991-1996*, 6 p, 2002.
- [32] S.Pande, S.C. Gupta, A.O. Ogungbile, E.I. Ejeaku, "Incidence of pearl millet diseases in relation to time of sowing in Niger and Nigeria", *ISMN*, vol. 38, pp. 121-122, 1997.
- [33] C.R. Mohanty, S. Gangopadhyay, "Testing of blast resistance in F2 rice seedlings in different doses of nitrogen and season", *Ann. Phytopath. Soc. Japan*, vol. 48, 648-658, 1982.
- [34] A. Bouet, A.A. Nicaise, S. Souleymane, C. Maméri, "Effet de la fertilisation azotée et phosphorée sur le développement de la Panachure jaune en riziculture aquatique en Côte d'Ivoire", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 6, no. 6, pp. 4071-4079, 2012.
- [35] R.S. Sasode, P.K. Fatehpuria, D.R. Chobe, R.K. Pandya, "Influence of Seed Dressing on Pearl Millet Downy Mildew", *Int. J. Pure App. Biosci.*, vol. 5, no. 3, pp. 874-877, 2017.