

## Historique Et Perspectives De La Recherche Sur Le Mildiou Du Mil (*Sclerospora graminicola*(Sacc.) Schroet.)Au Niger : Revue De La Littérature

KARIMOU Issa<sup>1\*</sup>; ZAKARI MOUSSA Ousmane<sup>2</sup>; ADAMO Issa<sup>3</sup>; ADAMO Haougui<sup>1</sup>; HALILOU Hayyo<sup>1</sup>; ADAMToudou<sup>4</sup> Et ADAMO Basso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Institut National de Recherche Agronomique du Niger)

<sup>2</sup>(Université Dan DikoDanKlodo de Maradi-Niger)

<sup>3</sup>(Université de Tillabéry- Niger)

<sup>4</sup>(Université Abdou Moumounide Niamey–Niger)

Corresponding Author: KARIMOU Issa.

---

**Abstract:** The objectives of this work consist on the one hand to review the literature on the pearl millet downy mildew in general, and on the other hand, doing the history of research work and the prospects of pearl millet downy mildew in Niger. The latest available knowledge on pearl millet downy mildew disease (causal agent, infection, symptoms, damage and control) is collected in the literature. A synthesis of research work as well as perspectives is doing on the pearl millet downy mildew in Niger. There is a lot of information on this disease in the world, particularly in Indian situation. In Niger, research activities have begun since 1972. Many activities were conducted. They focused mainly on resistant varieties, integrated management, chemical control, and characterization of the Niger isolates of *S. graminicola*.

**Key Words:** Historic, pearl millet, downy Mildew, Niger, review.

---

Date of Submission: 05-03-2018

Date of acceptance: 24-03-2018

---

**Résumé :** Les objectifs de ce travail consistent d'une part à faire une revue de la littérature sur le mildiou du mil en général et d'autre part tracer l'histoire des travaux de recherche sur le mildiou du mil au Niger afin de dégager les perspectives. Les dernières connaissances disponibles relatives à la maladie du mildiou du mil (agent causal, infection, symptômes, dégâts et méthodes de lutte) sont collectées dans la littérature en général. Un accent particulier a été mis sur l'état des lieux des travaux de recherche ainsi que les perspectives sur ce parasite au Niger. Il existe beaucoup d'information sur le mildiou du mil dans le monde en général et particulièrement la situation Indienne. Au Niger, la recherche sur le mildiou du mil a débuté depuis 1972. Plusieurs activités ont été réalisées. Elles se sont focalisées surtout sur les variétés résistantes, la lutte intégrée, la lutte chimique, et la caractérisation des isolats de *S. graminicola* qui existent au Niger.

**Mots clés:** Historique, mil, Mildiou, Niger, revue.

Research Histories and Perspective on downy mildew (*Sclerospora graminicola* (Sacc.)Schroet.)in Niger:Literature revue

### I. Introduction

Pays enclavé, situé au cœur du Sahel, et avec ses 1.267.000 Km<sup>2</sup>, le Niger est le plus vaste des pays d'Afrique de l'Ouest et se classe 5<sup>ème</sup> à l'échelle continentale à près l'Algérie, la République Démocratique du Congo (RDC), la Libye et le Tchad. Il se situe entre les longitudes 0°16' et 16 Est et les latitudes 11°1' et 23°17' Nord. Du nord au sud, le pays est subdivisé en cinq zones agro écologiques suivant les précipitations annuelles qui varient de 0 mm au nord à plus de 800 mm au sud vers la frontière avec le Bénin. Du fait de l'aridité de son climat, les ¾ du territoire sont désertiques. Malgré son climat aride, le Niger reste un pays à vocation agro sylvo pastorale.

L'agriculture occupe une place très importante dans l'économie de ce pays. Les quatre principales cultures sont le mil, le sorgho, l'arachide et le niébé. Parmi ces dernières, le mil occupe la première place à l'échelle nationale faisant du Niger le deuxième producteur mondial après l'Inde parmi les nations productrices du mil [1]. C'est une plante tolérante à la sécheresse et bien adapté aux sols pauvres [2]. Elle est cultivée pour

ses graines qui sont largement utilisées en alimentation humaine, et son fourrage pour l'aliment du bétail. Les tiges sont utilisées comme matériaux de construction dans l'habitat traditionnel. En dépit de son importance au Niger, le rendement de cette céréale reste toujours faible (455 kg/ha), [3], ce qui explique l'insuffisance chronique de sa production pour satisfaire le besoin alimentaire de la population. Ce faible rendement est dû, au fait que l'agriculture est essentiellement pluviale et est sujette à beaucoup des contraintes biotiques et abiotiques. Parmi les contraintes biotiques, la maladie du mildiou du mil, dont l'agent pathogène est *S. graminicola*, occupe une place très importante. Il constitue un important facteur limitant la pleine exploitation du potentiel du rendement des variétés cultivées du mil.

Le mildiou du mil a été reconnu comme une maladie de grande importance depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle; cependant, il a relativement attiré peu d'attention du monde jusqu'au aux années 1960[4]. Aujourd'hui, on constate qu'il y a eu beaucoup de progrès dans la gestion de cette maladie dans le monde en général et particulièrement en Inde. Au Niger, les travaux de recherche sur cette maladie ont commencé en 1972[5]. L'objectif de ce travail consiste à faire une revue sur le mildiou du mil en général et particulièrement un état des lieux des travaux de recherche sur ce parasite au Niger afin de dégager des perspectives.

## II. Généralités Sur Le Mildiou Du Mil

Appartenant à la famille des Sclerosporaceae, genre *Sclerospora*, l'agent causal du mildiou du mil le «*S. graminicola*» est un parasite obligatoire qui exige un tissu hôte pour son développement. Il a été décrit pour la première fois en 1876, sous le nom de *Protomyces graminicolus* sur le *Setaria verticillata*[6], puis rebaptisé en 1879 sous le nom de *S. graminicola*[7]. C'est une espèce qu'on rencontre aujourd'hui dans plus de 50 pays à travers le monde, particulièrement dans les régions tempérées et tropicales d'Afrique, d'Asie, d'Amérique, d'Europe et d'Océanie. Elle cause d'importants dégâts sur le mil, variant de 0 à 70% [8].

### 2.1. SYMPTOMES

Le mildiou du mil se manifeste sur le plant entier au niveau des feuilles, des tiges et épis. Au niveau des feuilles on observe un jaunissement (chlorose) de la partie basale du limbe. Lorsque les conditions d'humidité et de température deviennent favorables (Température ambiante de 20 à 25°C et Humidité Relative > 90%), on observe un duvet blanc caractéristique d'une abondante production de sporanges à la surface inférieure des feuilles infectées. Il s'agit de la sporulation des organes asexués du parasite (Figure 1, photo A). Les plants issus de graines de mil infectées (Figure 1, photo B), restent en général rabougris et ne produisent pas de panicules ([9]; [10]). Les inflorescences des plantes infectées présentent une virescence complètement ou partiellement, leurs fleurs ayant été transformées en organes foliacés d'aspects variés, (figure 1, photos C, D et E). La nature de l'épi dépend du moment où a lieu l'infection. Plus l'infection est tardive, et plus l'épi a un aspect normal, et, inversement [11].



**Figure 1 :** Symptômes typiques de mildiou du mil montrant une production de sporanges (photo A) un rabougrissement des plants (Photo B) et différentes formes de virescences des épis du mil (photos C, D et E) ;

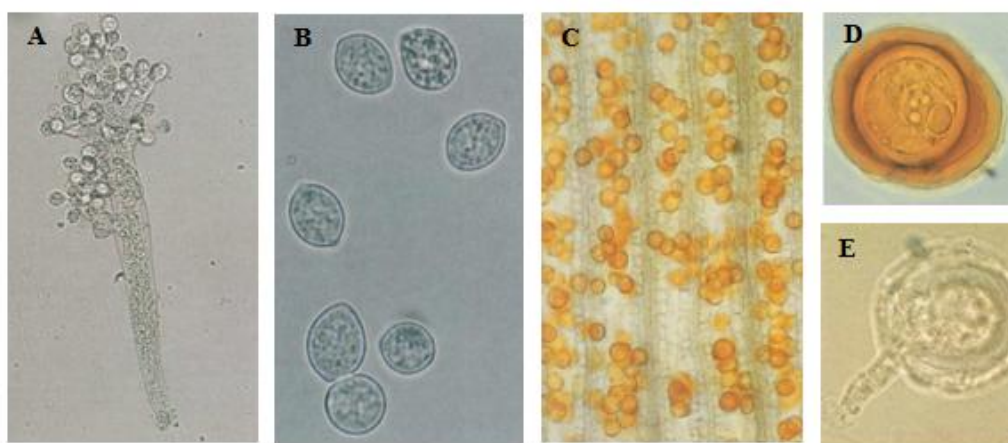
Photos : Issa KARIMOU

### 2.2. AGENT CAUSAL

Le *S. graminicola* est un champignon qui produit deux types de spores: asexuées ou sporanges au cours de la période végétative et sexuées ou Oospores à la fin de la saison culturale pour assurer la conservation du pathogène.

### 2.2.1. LES SPORES ASEEXUEES

Formées sur les stérigmates des sporangiophores (figure 2 Photo A), les sporanges sont ellipsoïdes (figure 2photo B), mesurant environ 19 µm sur 16µm, et portent des papilles à leur extrémité. C'est à leur niveau que se fait la différenciation et la libération des zoospores. Avec un diamètre variant de 4 à 10µm, les zoospores sont en général uni nucléés et biflagellées, mais parfois multi nucléés et multi flagellées si elles sont libérées par des sporanges conservées à une température de 5°C [12]. Après leur libération, les zoospores germent, émettent un tube de germination qui pénètre dans l'épiderme des racines ou le cône verticillaire des plantules de l'hôte[13]. La production des sporanges survient à une température variant entre 10°C et 30°C, avec un optimal se situant entre 20°C et 25°C, couplé avec une humidité relative optimale variant de 95 à 100 %. Lorsque l'humidité relative descend en dessous de 70 %, il n'y a pas de sporulation. Elles sont produites sur la face inférieure des feuilles infectées à mainte reprise sur la même feuille et pendant plusieurs jours si les conditions du milieu sont favorables. Dans des conditions optimales (20°C et 100 % d'humidité relative), le nombre de sporanges pouvant être produites a été évalué à environ 150.000 par cm<sup>2</sup> de surface foliaire en une nuit[4]. Les sporanges germent indirectement en produisant des zoospores du nombre de 1 à 12 par sporange[14]. Les zoospores libérées nagent pendant 30 à 60 mn, puis s'enkystent et germent, en émettant un tube de germination; ces zoospores conservent leur pouvoir infectieux pendant 4 h à 30°C, ou une période plus longue si les températures sont plus basses. Dans la nature, les sporanges ont une courte durée de vie. Elles ne survivent pas au champ pendant le jour [15].



**Figure 2 :** Sporangiophore de *S. graminicola* (A) ; les sporanges (B); les Oospores (C) ; Oospore mure (D) et oospore en germination (E). (Source: [9])

### 2.2.2. LES SPORES SEXUEES OU OOSPORES

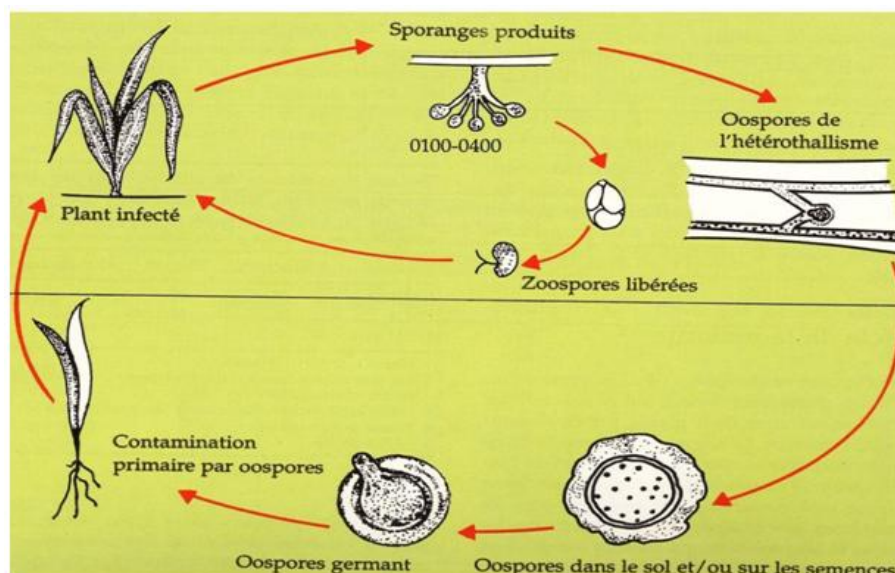
Les organes sexués du *S. graminicola* sont appelés des oospores; de couleur rouge brune (figure 2photo C), ces dernières sont produites dans les tissus infectés de la plante hôte. Elles sont sphériques avec un contour irrégulier et un diamètre très variable (22 à 35µm) et résultent d'une union de deux thalles complémentaires par différenciation des gamétanges mâles et femelles [4]. Résistantes aux températures du sol, les oospores sont des formes de conservation du parasite et peuvent survivre pendant plusieurs années (8 mois jusqu'à 10 ans), [16]. Lorsque les conditions de température et d'humidité redeviennent favorable, les oospores matures (figure 2photo D) vont s'hydrater, et émettre un tube de germination (figure 2photo E).

### 2.3. CYCLE DE LA MALADIE

Les oospores qui sont dans le sol et les débris végétaux ou sur les semences germent et infectent les parties souterraines des plantules [4]. Lorsque le champignon (*S. graminicola*) pénètre dans les tissus de l'hôte, il développe une infection systémique et colonise rapidement la plante, et les symptômes apparaissent sur les feuilles et les épis de l'hôte. Cependant le site exact de pénétration du pathogène est malconnu [17]. Les tubes de germination pénètrent généralement par l'épiderme entre les cellules, mais ils peuvent aussi entrer par les stomates. Lors de la contamination primaire, les hôtes sont plus vulnérables depuis la germination des graines jusqu'au stade 1-2 feuilles, puis la sensibilité diminue beaucoup par la suite [18].

Lorsque les conditions d'humidité et de température sont favorable au développement du pathogène (température ambiante entre 20 et 25°C et humidité relative > 90%), les feuilles du mil infectées produisent de nombreux sporanges sur leurs faces inférieures. Ces sporanges libèrent des zoospores qui à leur tour peuvent

germer et contaminer d'autres plants sains dans le même champ ou dans des champs voisins; il s'agit là d'une infection secondaire [4]. La production des sporanges au niveau des feuilles infectées continue dans les conditions favorables, jusqu'à ce que les tissus deviennent nécrotiques ou sénescents. En ce moment les oospores sont produites dans les tissus des feuilles infectées lorsque des types sexuels complémentaires de *S. graminicola* sont présents dans le même tissu. De fois, du fait qu'il y est probablement un seul type sexuel présent, il n'existe pas de production des oospores[19]. Les oospores peuvent se trouver dans le sol, sur les semences ou dans les débris des plants infectés pour assurer la survie de l'espèce d'une saison de pluie à une autre [4].



**Figure 3 :** Cycle biologique de *Sclerospora graminicola*[4].

## 2. 4. VARIABILITE

La variabilité de *S. graminicola*, responsable du mildiou du mil a été rapportée en Inde pour la première fois, sur un hybride NHB3 qui était résistant à Gulbarga et sensible à Mysore[20]. Depuis ce jour, plusieurs autres isolats ont été identifiés en Afrique de l'Ouest([13];[21];[22];[23]; [24]; [25]). Une grande hétérogénéité de la pathogénicité a été mise en évidence au sein des populations de *S. graminicola* d'une localité à une autre, entre les saisons et parmi les isolats d'une seule oospore de *S. graminicola* en Inde et en Afrique ([26]; [21]). Cette variabilité pathogénique chez le *S. graminicola* est plus liée à la virulence des différents isolats[27]. Cependant l'adaptation à des conditions environnementales spécifiques n'a pas été aussi bien développée; les isolats de divers endroits ne diffèrent pas beaucoup dans leurs exigences environnementales [28].

## III. Méthodes De Lutte

### 3.1. LUTTE AGRONOMIQUE

#### 3.1.1. UTILISATION DES SEMENCES SAINES ET DESTRUCTION DES RESIDUS DES CULTURES

Dans le cycle du développement de *S. graminicola*, l'inoculum responsable de l'infection primaire pourrait se trouver sur la semence, dans le sol ou dans les débris des cultures, sous forme d'oospore ou de mycélium (à l'intérieur des graines provenant d'épis qui présentent une virescence partielle). L'utilisation des semences saines et stérilisées et la destruction des résidus des plants malades, permettent de réduire l'inoculum primaire dans un champ ([4]; [10]).

#### 3.1.2. ARRACHAGE ET DESTRUCTION DES PLANTS MALADES

L'arrachage et la destruction des plants malades par le feu permettent de réduire la production des sporanges et des oospores du *S. graminicola* ([29]; [13]).

#### 3.1.3. CALAGE DE SEMIS

Les semis précoces et les semis à sec du mil sont moins attaqués par le *S. graminicola* que les semis tardifs [30]. En effet, avec les semis précoces et les semis à sec, les conditions climatiques ne sont pas favorables à l'infection primaire contrairement au semis tardif.

### **3.1.4. ROTATION ET/OU CULTURES PIEGES**

Lorsque les oospores du *S. graminicola* constituent la principale source d'inoculum primaire, la rotation des cultures et/ou la culture piège peut être une méthode efficace de contrôle du mildiou du mil [31]. Une variété de mil très sensible au mildiou peut être utilisée comme culture piège. Une fois la culture piège installée, elle sera récoltée lorsque les symptômes de la maladie apparaissent et avant la formation des oospores (spores de conservation du champignon). Cependant, dans la pratique, la méthode de culture piège sera difficilement applicable par les petits producteurs des régions semi arides d'Afrique. Les courtes saisons pluvieuses et le faible moyen financier sont autant des facteurs qui limitent l'utilisation de cette méthode [32].

### **3.1.5. LABOUR ET DENSITE DU SEMI**

Il existe peu d'informations sur l'effet du labour et de la densité de semis sur le mildiou du mil. Cependant, les fortes densités de semis réduisent l'effet du mildiou sur les rendements du sorgho [33]. De même une densité 0.8m sur 0.8m combinée avec le fongicide Apron star 42 WS permet de réduire l'incidence du mildiou et améliore le rendement du mil [34]. Avec un labour profond l'enfouissement des oospores du *S. graminicola* réduit significativement l'effet du mildiou sur les variétés du sorgho [35].

## **3.2. LUTTE CHIMIQUE**

Etant donné que l'inoculum primaire du mildiou du mil peut être dans la semence, le sol et l'air, les produits chimiques sont appliqués sur les semences, dans le sol et sur les plants en croissance. Des résultats contradictoires ont été obtenus avec les fongicides non systémiques. Certains auteurs ont obtenu des résultats positifs [36], tandis que d'autres ont obtenu des résultats négatifs. Les raisons attribuées à ces échecs sont entre autres: l'incapacité de ces fongicides de contrôler la croissance systémique de l'agent pathogène dans la plante hôte, de protéger les racines de la plante hôte qui s'agrandissent de plus en plus et de résister à des pluies très fréquentes [37]. Après les fongicides non systémiques, ce fut l'ère des fongicides systémiques. Avec le Metalaxyl, un fongicide systémique de traitement des semences, à la dose de 1-2 g de matière active par kg de semence ( $g\ m\ aKg^{-1}$ ), on obtient un excellent contrôle du mildiou du mil ([38];[39]). Cependant, l'utilisation du Metalaxyl à une dose supérieure à 2  $g\ m\ a\ Kg^{-1}$  provoque une mauvaise levée des semences par toxicité surtout avec le fongicide connu sous la formulation «Apron 35 SD» [40]. L'utilisation d'Apron 35WS en traitement de semences, à la dose de 6  $g\ m\ a\ Kg^{-1}$ , suivi de traitement foliaire avec 4g de Ridomil MZ par litre, assure une bonne protection du mil contre le mildiou jusqu'à 30 Jours après semis (JAS), [41]. Chandrashekhara et ses alliés [42] affirment que le traitement de semences de mil avec l'extrait aqueux des feuilles de *Viscum album* induit aux plants de mil, une résistance contre le mildiou. De même le fongicide Apron Star 42WS qui est une combinaison de trois matières actives (20% de Thiaméthoxam, 20% de Metalaxyl-M et 2% de Difénoconazole), utilisé en traitement de semence contre le mildiou du mil à la dose recommandée, améliore le rendement du mil [34].

## **3.3. LUTTE GENETIQUE**

### **3.3.1. LA RESISTANCE VARIETALE**

L'utilisation des variétés résistantes au mildiou du mil reste et demeure la méthode la plus économique et la plus réalisable pour le contrôle du mildiou (*S. graminicola*) du mil. Des progrès importants ont été réalisés dans la création, l'identification et le criblage des variétés de mil résistantes à la maladie du mildiou du mil ([43] ; [44]).

### **3.3.2. LA RESISTANCE INDUITE**

Des agents inducteurs capables de déclencher les mécanismes de défense innés dans les plantes peuvent être utilisés comme moyen de lutte contre le mildiou du mil. Comparativement au contrôle chimique, l'induction de la résistance à un large éventail d'agents pathogènes dans des plantes hautement sensibles est considérée comme une alternative potentiellement plus sûre à d'autres méthodes de contrôle chimique des maladies des plantes.

## **3.4. LUTTE BIOLOGIQUE**

Elle repose sur l'attribution du rôle d'auxiliaire de l'homme, dans son combat contre les ravageurs de cultures, à un organisme vivant. Dans cette lancée, la lutte biologique est une utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits, pour empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés par d'autres organismes nuisibles aux cultures. Plusieurs organismes (champignons, bactéries, virus, ...) ont montré un intérêt dans la lutte biologique contre le mildiou du mil. Ainsi, en 1976, Rao et Pavgiont rapporté le parasitisme des oospores de *S. graminicola* par *Fusarium semitectum* [45]. De même en 2012, certains auteurs ont rapporté le parasitisme de *S.*

*graminicola* par *Trichodermaviride*, *Trichodermaharzianum*, *T. hamatum* et *Pseudomonas fluorescens*[10]. Une protection contre le mildiou du mil de 50% et 43% par rapport au témoin non traité a été obtenue respectivement en utilisant les formulations avec la souche SE34 de *Bacillus pumilus* et de la souche GB03 de *B. subtilis*[46].

### 3.5. LUTTE INTEGREE

La lutte intégrée est un système de gestion des ennemis des cultures qui privilégie la préservation de l'environnement et la santé du consommateur au moyen de pratiques agricoles raisonnées. Elle consiste à réduire le taux des résidus de produits chimiques dans les aliments et à maintenir les ravageurs à un seuil de nuisibilité tolérable. Il s'agit d'une combinaison raisonnée de plusieurs méthodes de lutte (culturelle, chimique, biologique, mécanique, génétique, ...). L'utilisation des produits chimiques n'a lieu que lorsqu'il n'existe aucun autre moyen de lutte efficace. Il existe beaucoup de combinaisons de méthodes de lutte qui ont fait leurs preuves dans la gestion du mildiou du mil[34].

## IV. Historique De La Recherche Sur Le Mildiou Du Mil Au Niger

Les travaux de recherche sur le mildiou du mil (*S. graminicola*) ont débuté au Niger en 1972 au temps de l'IRAT (Institut de Recherche en Agronomie Tropicale), avec un programme de création des variétés naines résistantes au mildiou. Ainsi, des populations naines  $\frac{3}{4}$  Hainé-Kiréi (IRAT P15),  $\frac{3}{4}$  Ex Bornu (IRAT P16) et  $\frac{3}{4}$  Seno ont été créées[5].

En 1989, en collaboration avec l'ICRISAT, 400 lignées dumil, ont été testées à la station INRAN de Bengou à Gaya. Parmi ces lignées, 10% ont manifesté un bon comportement de résistance au mildiou du mil (incidence < 5%), [47].

De 1992 à 1997, les travaux de recherche sur le mildiou du mil, dans le cadre du projet ROCAFREMI (Réseau Ouest et Centre Afrique sur le Mil (ROCAFREMI), en général et au Niger en particulier étaient orientés vers quatre objectifs à savoir :

Identification des variétés résistantes au mildiou du mil ;

Identification et évaluation des méthodes traditionnelles de contrôle du mildiou.

La méthode de lutte chimique

Valorisation en milieu paysan d'au moins une méthode de lutte intégrée contre le mildiou du mil;

S'agissant du premier objectif, les expérimentations étaient conduites dans les stations de recherche de l'INRAN à Tarna (Maradi) et à Bengou (Gaya). A l'issue de ces criblages, une quinzaine de génotypes se sont montrés résistants au mildiou du mil. Parmi ces génotypes, 6 provenaient du programme national de sélection et 9 sont introduits à partir du Mali, du Nigeria et de l'ICRISAT[48].

Pour le second objectif, un diagnostic participatif rapide a été effectué pour recenser des méthodes traditionnelles de lutte contre le mildiou du mil. A l'issue de ces enquêtes, deux méthodes traditionnelles de lutte contre le mildiou du mil sont identifiées, testées et évaluées sans succès au Niger. Il s'agit des produits à base du néré (*Parkiyabiglobosa*), particulièrement la poudre de pulpe jaune et celle des graines de cette espèce (non publié).

En ce qui concerne le troisième objectif, il s'agissait pour la recherche d'étudier une possibilité de réduction de la dose d'Apron plus 50DS, recommandée par le fabricant dont la recherche pensait que la dose de 10g de produit pour 750g de semence pourrait être trop chère pour la plus part des producteurs du mil, des pays financés par le réseau ROCAFREMI. Ainsi trois doses (25%, 50% et 75% de la dose recommandée) étaient testées en station à Bengou, Tara, Kollo, Maradi et Magaria. A l'issue de ces expérimentations, il s'est dégagée une possibilité de réduction de la dose recommandée par le fabricant jusqu'à 50% (non publié).

S'agissant du quatrième objectif, les activités de lutte intégrée contre le mildiou du mil sont conduites au niveau des stations de Bengou, Konni, Maradi et Magaria, le long de la bande sud du pays, et ont montré l'intérêt de la combinaison de deux variétés améliorées (Zatib et HKP) avec le traitement apron plus 50 DS. Cependant, la rentabilité de cette méthode risque d'être minimisée par d'autres contraintes de production du mil (pauvreté du sol, ravageurs et *Striga*), auxquels se trouvent confrontés quotidiennement les producteurs du mil [48].

En 1995, une étude sur la variabilité de *S. graminicola*, a été dirigée à l'ICRISAT en Inde. Quatre isolats de cette espèce étaient concernés: un pathogène, maintenu sur deux variétés sensible (la 7042 et HB-3) à l'ICRISAT Inde collecté en 1989 en Inde, un isolat en provenance de Bengou au Niger collecté en 1992, un autre isolat collecté à Maiduguri au Nigeria en 1989 et enfin le quatrième isolat collecté au Sénégal en 1992. A l'issue de cette étude, il ressort que l'isolat de l'Inde est le plus virulent que ceux d'Afrique; cependant parmi les isolats de l'Afrique, celui du Niger est le plus virulent [49].

En 1996, une équipe des chercheurs de l'ICRISAT Patancheru, ICRISAT Kano et IAR de Samaru au Nigeria avait étudié l'effet de date de semis sur les maladies du mil à savoir le mildiou, le charbon et l'ergot. A l'issue de cette étude il ressort que le semis précoce du mil minimise l'effet de ces maladies et par conséquent le semis précoce devrait être pris en compte dans la gestion intégrée de ces maladies [30].

L'historique de travaux de recherche sur le mildiou du mil au Niger nous informe de la création des hybrides du mil au cours des années 2000. C'est ainsi que plusieurs hybrides fut créés au cours de cette période ; parmi ces hybrides, six ont monté un bon niveau de résistance au mildiou du mil; il s'agit de Gamoji x HKB, Moro x HKP-GMS, Ankoutess x HKB, Ankoutess x Souna-3, Gamoji x Souna-3 et Ex-Borno x HKB qui ont une incidence du mildiou du mil <10% [50].

En 2016, des travaux sur la caractérisation des isolats du *S. graminicola* du Niger font état de la mise en évidence d'une variabilité au sein des isolats du *S. graminicola* du Niger [50].

## V. Conclusion Et Perspectives

Les travaux de recherche sur le mildiou du mil au Niger se sont focalisés sur la création des variétés (population et hybrides) résistantes, la lutte chimique et la lutte intégrée.

En perspective, la recherche sur cette maladie au Niger pourrait s'appesantir sur les actions suivantes :

- Caractérisation des isolats de (*S. graminicola*) afin d'identifier tous les différents isolats à travers le pays et établir une carte de répartition géographique de ces derniers ;
- Création des variétés résistantes au mildiou du mil en général et particulièrement les hybrides ;
- Création des laboratoires équipés et des serres pour le criblage des matériels génétiques résistants au mildiou du mil dans les trois principales zones de production du mil (Ouest, Centre et Est du pays), pour limiter la dispersion des isolats d'une zone à une autre à travers les semences et éviter ainsi toute possibilité de recombinaison entre isolats susceptible d'engendrer l'apparition de nouveaux génotypes ;
- Renforcement des capacités des chercheurs, techniciens, agents vulgarisateurs et producteurs du mil pour mieux connaître ce pathogène et renforcer ainsi le combat contre ce fléau.

## VI. Remerciement

Au terme de cette étude nous tenons à remercier Dr Ichaou Aboubacar, ancien Directeur Général de l'INRAN, qui nous a beaucoup soutenus dans ce travail. Nos remerciements vont également au personnel de l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN) en particulier ceux du CERRA Maradi.

## Références

- [1]. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2015, Division Statistique
- [2]. O P Yadav, and K N Rai, Genetic Improvement of Pearl Millet in India. Agricultural Research. ISSN 2249-7218, 2013, pp. 1-18.
- [3]. Institut National de la Statistique (INS), Direction Générale de la statistique, 2014: Rue de la Sirba B.P 13416 Niamey – Niger. Site web: <http://www.ins.nee-mail : ins@ins.ne>
- [5]. S.D. Singh, S.B. King and J. Werder, Downy mildew disease of pearl millet. Information Bulletin no. 37. (In En. Summaries in Fr, Es.) Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1993, 36 pp. ISBN 92-9066-257-3. Order code: IBE 037.
- [6]. J. Chantereau, et C. Etasse, Création des populations naines de mil Pennisetum (*Pennisetum Typhoides* STAPF) au Niger, Extrait de L'Agronomie Tropicale XXXI-3 - Juillet-Septembre 1976.
- [7]. PA. Saccardo, Fungi Venetinae. Ser. V. n. 091 Nuovo Giornale Bot. Italiano, 8:1876, 161-211.
- [8]. J. Schröter, *Protomyces graminicola* Sacc. Hedwigia, 18: 1879, 83-87.
- [9]. J. Grahame, Pearl millet downy mildew *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet. Plantwise Knowledge Bank, 2014, <http://www.plantwise.org/Knowledge Bank /Data sheet.aspx? dsid=49159>
- [10]. RP. Thakur, R. Sharma, and VP. Rao, Screening Techniques for Pearl Millet Diseases. Information Bulletin No. 89. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2011, 56 pp
- [11]. R. Sudhakar, R P. Narayana and V. Bharathi, Downy Mildew Disease of Pearl Millet (Bajra): Infection, Damage and Management Strategies. International Journal of Bio-resource and Stress Management 3(1), 2012, 103-108.
- [12]. H.S. Prakash, N. Chandra and K. Ramachandra, Downy Mildew Disease of Pearl Millet and Its Control. Springer Science+Business Media New York, 2014, 24p
- [13]. S.D Singh and R.J. Williams, Role of sporangia in the epidemiology of Pearl millet. Downy mildew. Phytopathology, 70: 1980, 1187-1190
- [14]. JC. Girard, Downy mildew of pearl millet in Senegal. In: Williams R.J. (ed.). Proceedings of the consultants group meetings on downy mildew and ergot of pearl millet. 1-3 October, ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi -Arid Tropics), Patancheru, India, 1975, pp 59-73
- [15]. H.S. Shetty, Biology and epidemiology of downy mildew of pearl millet. (Summaries in En, Fr.), 1987, Pages 161-172 in Proceedings of the International Pearl Millet Workshop; 7-11 Apr 1986, ICRISAT Center, India. Patancheru, AP. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- [16]. S.D Singh and R. Gopinath, A seedling inoculation technique for detecting downy mildew resistance in pearl millet. Plant Disease 69: 1985, 582-584

- [17]. Y.L. Nene and S.D. Singh, Downy mildew and ergot of pearl millet. PANS 22: 1976, 366-385.
- [18]. D. F. MBAYE, Une étude du pathosystème *Pennisetum glaucum* – *Sclerospora graminicola* applicable à la gestion du mildiou du mil au Sénégal, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 1994.
- [19]. A. Bhatnagar, Studies on mode of penetration by *Sclerospora graminicola* (Sacc.). Schroet. In pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) leaves. M.Sc. thesis, Andhra Pradesh Agricultural University, Rajendranagar, Andhra Pradesh, India, 1988, 88 pp.
- [20]. R.W. Michelmore, M.N. Pawar and R.J. Williams, Heterothallism in *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet. Phytopathology 72:1982, 1368-1372.
- [21]. S.S. Bhat, Investigation on the biology and control of *Sclerospora graminicola* on bajra. PhD thesis, University of Mysore, Mysore, Karnataka, India, 1973, 165 pp.
- [22]. 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, 102(2):1983, 257–264. DOI:10.1111/j.1744-7348.tb02692.x
- [23]. S.L. Ballet DJ Pike, Intercontinental variation of *Sclerospora graminicola*. Annals of Applied Biology 104, 1984, 41–51.
- [24]. S.L. Ball, DJ. Pike and DY. Burrige, Characterization of populations of *Sclerospora graminicola*. Annals of Applied Biology, 1986, 108, 519–26.
- [25]. D.M. Gwary, I. Garba and S.D. Gwary, Evidence of Pathogenic Variation in *Sclerospora graminicola* Populations from Pearl Millet Regions of Nigeria. International Journal of Agriculture & Biology .1560–8530/2007/09–1–94–97
- [26]. I. Karimou, H. Adamou, B. Adamou, T. Adam, A. Mahamane, A.A. Saidou, P. Gangashetty et H. Dodo, 2017. Evaluation sous serre de la virulence de quatre isolats de *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet. du Niger, sur des génotypes du mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.], Annales de l'Université Abdou Moumouni, Tome XXII-A, 2017, P.125-135.
- [27]. R.P. Thakur, K.G. Shetty, 1993. Variation in pathogenicity among single spore isolates of *Sclerospora graminicola*, the causal organism of downy mildew in pearl millet. Plant Pathology, 42:1993, 715-721.
- [28]. CH Bock, Studies of the Epidemiology, Variability and Control of Sorghum Downy Mildew (*Peronosclerospora sorgho* (Weston & Uppal) C.G. Shaw) on Sorghum and Maize in Africa, 1995, Reading, UK: University of Reading, Department of Agriculture, PhD thesis.
- [29]. MR, Bonde, GL. Peterson, NB. Duck, Effects of temperature on sporulation, conidial germination, and infection of maize by *Peronosclerospora sorgho* from different geographic areas, 1985, Phytopathology 75, 122–6.
- [30]. D.P. Thakur and Z.S. Kmwar, Infectivity of sporangia of *Sclerospora graminicola* on pearl millet downy mildew. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology 7(1):1977a, 104-105
- [31]. S Pande, S.C. Gupta, A.O. Ogungbile and E.I. Ejeaku, Incidence of pearl millet diseases in relation to time of sowing in Niger and Nigeria. ISMN. 38, 1997, 121-122
- [32]. DP. Thakur, Pearl millet downy mildew. In: Singh US, Mukhopadhyay AN, Kumar J, Chaube HS, eds. Plant Diseases of International Importance: Diseases of Pulses and Cereals, vol. I, 1992, 282–301. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- [33]. Jeger M. J, Gilijamse E, Bock C. H and Frinking H. D. The epidemiology, variability and control of the downy mildews of pearl millet and sorghum, with particular reference to Africa. Plant Pathology (1998) 47, 544–569
- [34]. Frederiksen RA, Sorghum downy mildew in the United States: overview and outlook. Plant Disease 64, 1980, 903–8.
- [35]. H. Halilou, A. Kadri et 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., 11(6), 2017, 2704-2712.
- [36]. DM. Tuleen, RA. Frederiksen, and P. Vudhivanich, Cultural practices and the incidence of sorghum downy mildew in grain sorghum. Phytopathology 70, 1980, 905–8.
- [37]. D.P. Thakur and Z.S. Kmwar, Internalseedborne infection and heat therapy in relation to downy mildew of *Pennisetum typhoides* Stapf and Hubb. Science and Culture 43:1977b, 432- 434.
- [38]. S.D. Singh, Studies on the downy mildew disease (*Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schroet.) of bajra (*Pennisetum typhoides* (Burm. F), Stapf and C. E. Hubb.) Ph.D thesis, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India, 1974, 126 pp.
- [39]. R.J. Williams and S.D. Singh, Control of pearl millet downy mildew by seed treatment with metalaxyl. Ann. Appl. Biology 97:1981, 263–268.
- [40]. J.K. Dang, D.R. Thakur and R.K. Grover, Control of pearl millet downy mildew caused by *Sclerospora graminicola* with systemic fungicides in an artificially-contaminated plot. Annals of Applied Biology 102:1983, 99-106.
- [41]. SD. Singh and HS. Shetty, Efficacy of systemic fungicide metalaxyl for the control of downy mildew (*Sclerospora graminicola*) of pearl millet (*Pennisetum glaucum*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 60:1990, 575-581.
- [42]. R.K. Pandya, R. Singh and M.L. Tripathi, Efficacy of metalaxyl and Aliete on downy mildew of pearl millet. Crop Research 20(1), 2000, 134-136.
- [43]. S. Chandrashekhara, R. Niranjan, G. Manjunath, S. Deepak & H. Shekar Shetty. Seed treatment with aqueous extract of *Viscum album* induces resistance to pearl millet downy mildew pathogen, Journal of Plant Interactions, 5:4, 2010, 283-291
- [44]. S.D. Singh and SS. Navi, Genetic resistance to pearl millet downy mildew II. Resistance in wilt relatives. Journal of Mycology and Plant Pathology 30(2), 2000, 167-171
- [45]. AB. Zarafi, Assessment of pearl millet genotypes for resistance to downy mildew (*Sclerospora graminicola*) under field conditions in Nigeria. Journal of Sustainable Agriculture 29(4), 2007, 155-171.
- [46]. RMN. Rao and MS. Pavgi, Amycoparasite on *Sclerospora graminicola*. Canadian Journal of Botany 54, 1976, 220–3.
- [47]. S.N. Raj, G. Chaluvvaraju, K.N. Amruthesh, H.S. Shetty, M.S. Reddy, and J.W. Kloepper, Induction of growth promotion and resistance against downy mildew on pearl millet (*Pennisetum glaucum*) by rhizobacteria. Plant Disease 87(4), 2003, 380-384.
- [48]. ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) Centre sahélien. 1990. Programmes ouest-africains de l'ICRISAT, Rapport annuel 1989. B.P.12404, Niamey, Niger: ICRISAT Centre sahélien
- [49]. Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le Mil (ROCAFREMI), 2002. Amélioration du contrôle du mildiou. ICRISAT. Niamey
- [50]. E.S. Jones, C.J. Liu, M.D. Gale, C.T. Hash. et J.R. Witcombe, Mapping quantitative trait loci for downy mildew resistance in pearl millet. Theor Appl Genet (1995) 91:448-456
- [51]. A. Issaka, Development of downy mildew resistant, F1 pearl millet. (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) Hybrids in Niger. These de PhD, University of Ghana Legon, (2013).