



Review Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Culture du mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] et ses contraintes à la production: une revue

Aboubacar KADRI^{1*}, Hayyo HALILOU^{1,2} et Issa KARIMOU²

¹ Département Productions Végétales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey-Niger, BP:10960 Niamey, Niger.

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

*Auteur correspondant, E-mail: abkadri_04@yahoo.fr, Tél : (+227) 96 98 86 47

RESUME

Le mil est la 7^{ème} céréale plus importante au monde. Elle est la culture sahélienne par excellence du fait de son adaptation aux conditions particulières de production dans cette région. Le Niger est le deuxième pays producteur du mil en Afrique après le Nigeria. Le mil se trouve être caractéristique des systèmes de culture les plus dominants occupant plus de 65% de la superficie emblavée. Cependant, la croissance et la productivité du mil sont entravées par l'incidence des maladies fongiques telle que le mildiou du mil causé [*Sclerospora graminicola* (Sacc)], des insectes comme la chenille mineuse de l'épi [*Heliocheilus albipunctella* (De Joannis)], des foreurs de tiges [*Coniesta ignefusalis* (Hampson)], des adventices et des oiseaux. A ceux-ci s'ajoutent un bilan hydrique déficitaire, la baisse progressive de la fertilité des sols, la mise en culture des terres marginales et l'absence de jachère. Par ailleurs, bien que plusieurs thèmes de recherche sur le mil aient été traités, il est aisé de constater que peu d'études sont réalisées sur la gestion intégrée des bioagresseurs du mil. Ce travail basé sur la revue de littérature vise à donner un aperçu général des études menées sur la culture du mil et ses contraintes à la production en générale et particulièrement sur les bioagresseurs du mil et leurs méthodes de lutte. Les thèmes de recherche en cours sur le mil tournent essentiellement autour de l'amélioration de la productivité de la plante, la création des variétés résistantes (ou tolérantes) aux maladies et aux insectes, la lutte chimique, la lutte mécanique et la lutte biologique des bioagresseurs. Cette synthèse bibliographique offre une vision des travaux de recherches scientifiques conduits sur la culture du mil, ses contraintes à la production et permet de mieux orienter les futures recherches à mener dans la lutte contre les bioagresseurs du mil tels que le mildiou et le foreur des tiges du mil afin d'améliorer le rendement de cette céréale combien importantes dans les zones arides et semi-arides.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Mots clés: Mil, contraintes, bioagresseurs, Niger.

Millet Crop [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] and its constraints to production: review

ABSTRACT

Millet is the 7th largest cereal in the world. It is the Sahelian culture par excellence because of its adaptation to the particular conditions of production in this region. Niger is the second largest producer of

millet in Africa after Nigeria. Millet is found to be characteristic of the most dominant cropping systems occupying more than 65% of the area planted. However, the growth and productivity of millet is hampered by the incidence of fungal diseases such as [*Sclerospora graminicola* (Sacc)] mildew, insects such as the caterpillar [*Heliocheilus albipunctella* (De Joannis)], stem borers [*Coniesta ignefusalis* (Hampson)], weeds and birds. To these are added a deficit water balance, the gradual decline in soil fertility, the cultivation of marginal lands and the absence of fallow land. In addition, although several research topics on millet have been discussed, it is easy to see that few studies are conducted on the integrated management of pearl millet pests. This work based on the literature review aims to give a general overview of the studies carried out on the cultivation of millet and its constraints to production in general and particularly on the pests of pearl millet and their methods of control. Current research topics on pearl millet revolve around improving the productivity of the plant, creating resistant (or tolerant) varieties of diseases and insects, chemical, mechanical and biological control of the pests of pearl millet. This bibliographic synthesis offers a vision of the scientific research carried out on the culture of the pearl millet, its constraints to the production and makes it possible better to direct the future research to be carried out in the fight against the pests of the pearl millet such as the downy mildew and the stems borer of pearl millet so to improve the yield of this cereal how important in arid and semi-arid areas.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Keywords: Millet, constraints, bioaggressors, Niger.

INTRODUCTION

Le mil est une culture à température chaude cultivée annuellement comme une culture pluviale dans les régions tropicales arides et semi-arides d'Afrique et le sous-continent indien où aucune autre culture ne peut survivre en raison de sols pauvres et de pluies erratiques et incertaines. Le mil peut être considéré comme une seule espèce, mais il comprend un certain nombre de races cultivées. Il est presque certainement originaire de l'Afrique occidentale tropicale, où se produit le plus grand nombre de formes sauvages et cultivées. Il y a environ 2000 ans, la culture mil a été transportée vers l'Afrique Orientale et Centrale et vers l'Inde où, en raison de son excellente tolérance à la sécheresse, elle s'est établie dans des environnements plus secs (Ati et al., 2015). Selon Andrews et al. (1993), le mil est une espèce de céréales tropicales à forte capacité de tallage et à pollinisation croisée, qui est obtenue grâce à la protogynie, puisque toutes les fleurs sessiles sont parfaites (c'est-à-dire physiquement fertiles et masculines). C'est l'unique espèce diploïde avec $x = 7$ ($2n = 14$ chromosomes) de la section Pénicillariae du genre *Pennisetum* de la famille des Gramineae (Tostain et Marchais, 1993).

Le mil est une culture alimentaire de base dans les régions arides et semi-arides

d'Afrique et d'Asie (Shelke et Chavan, 2010). En Afrique, la culture du mil s'étend sur plus de 21 millions d'hectares, où près de 500 millions de personnes en dépendent pour leur survie. L'Afrique assure 40% de la production mondiale du mil (Saïdou, 2011). Le mil est cultivé sur plus de 12 millions d'hectares en Afrique de l'Ouest et occupe plus de 65% de la superficie emblavée au Niger (Abasse et al., 2013 ; IRD, 2009). En Australie et aux États-Unis, le mil constitue une plante fourragère très appréciée (Hamadou et al., 2017).

Cependant, la croissance et la productivité du mil sont entravées par l'incidence des bioagresseurs (maladies et organismes nuisibles) (Lakshmana, 2008). Parmi, les maladies, celles qui causent plus des dégâts dans la production du mil sont les maladies fongiques. Elles comprennent essentiellement le mildiou [*Sclerospora graminicola* (Sacc)], le charbon [*Tolyposporium penicilluriae* (Bref.) Vanky] et l'ergot [*Claviceps fusiformis* (Loveless)], (Jogaiah et al., 2008; Thakur et King, 1988a; Thakur et King, 1988b). Les autres organismes nuisibles au mil regroupent les insectes, les adventices et les oiseaux. En ce qui concerne les insectes, la chenille mineuse de l'épi [*Heliocheilus albipunctella* (De Joannis)], les foreurs de tiges [*Acigona* (*Coniesta*) *ignefusalis* et *Sesamia calamistis*

(Hampson)] et les acridiens [*Oedaleus senegalensis* (Krauss) et *Schistocerca gregaria* (Forsk.)] sont les principaux ravageurs du mil qui ont une importance économique néfaste (Gahukar, 1990 ; Mbaye, 1993 ; Obeng-Ofori et al., 1993 ; Youm et Owusu, 1998). En zone sahéenne, *Striga hermonthica* (Del.) Bent., constitue un des facteurs non négligeables responsables de la baisse du rendement du mil. Pour les oiseaux, ce sont surtout les espèces polyphages (*Quelea quelea*) qui causent des dégâts sur le mil variant de 10 à 30% (Mbaye, 1993). La production du mil est aussi entravée par des facteurs abiotiques dont, entre autres, un bilan hydrique déficitaire, une baisse progressive de la fertilité des sols, une mise en culture des terres marginales et une absence de jachère (Zakari et al., 2016 ; BA et al., 2014). Au Niger, il faut ajouter la forte croissance démographique qui accélère la surexploitation des sols entraînant un appauvrissement des terres de culture et une faible utilisation des intrants agricoles tels que les engrais chimiques, les variétés améliorées.

L'objectif de ce travail est de donner un aperçu général des études menées sur la culture du mil et ses contraintes à la production en générale et particulièrement sur les bioagresseurs du mil et leurs méthodes de lutte, en vue de proposer des nouvelles méthodes de lutte afin d'améliorer le rendement de cette céréale combien importantes dans les zones arides et semi-arides.

IMPORTANCE DU MIL

Importance du mil dans le monde

La culture du mil remonte à la plus haute antiquité. Il était déjà utilisé et cultivé dans les temps préhistoriques dans beaucoup d'endroits (Loumerem, 2004). Le mil occupe la 7^{ème} place parmi les céréales les plus importantes au monde (Moumouni, 2014). En 2007, la production mondiale du mil a atteint environ 32 millions de tonnes (Amadou et al., 2013). Dans le monde, la culture du mil couvrait plus de 33,11 millions d'hectares en 2013 avec une production de 25,9 millions de tonnes (Hamadou et al., 2017). La production

des principaux pays producteurs du mil en 2016 (Figure 1) était de 26,9 millions de tonnes avec l'Inde en tête (10,2 millions de tonnes) suivi du Niger (3,8 millions de tonnes) (FAOSTAT, 2018).

En Inde, où le mil arrive au quatrième rang des céréales après le riz, le blé et le maïs, sa culture est plus importante dans les Etats de Rajasthan, de Maharashtra, de Gujarat, d'Uttar Pradesh et de Haryana (Yadav et Rai, 2013). En Afrique, la culture du mil s'étend sur plus de 21 millions d'hectares où près de 500 millions de personnes en dépendent pour leur survie (Saïdou, 2011). Approximativement 40% de la production mondiale du mil provient de l'Afrique (Samba et al., 2015) et l'Afrique de l'Ouest fournit environ 80% de cette production (ROCAFREMI, 2002). Dans certains pays du Sahel, le mil représente plus de 75% des céréales cultivées (Goudia et al., 2016). En effet, le mil est la culture sahéenne par excellence du fait de son adaptation aux conditions particulières de production dans cette région (Saïdou, 2011). Les principaux pays producteurs d'Afrique de l'Ouest sont: le Nigéria, le Niger, le Burkina Faso, le Tchad, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. En Afrique de l'Est, le Soudan et l'Ouganda sont les plus gros producteurs, alors qu'en Afrique Australe, les cultures du mil ont quasiment disparu. Le mil est aussi cultivé dans les pays d'Afrique du Nord tels que la Tunisie, l'Algérie, la Libye et le Maroc (Loumerem, 2004).

Le mil 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 (Sumathi et al., 2010 ; Kholova et Vadez 2013 ; Bashir et al., 2014 ; Kanan et al., 2014). Ainsi, le mil fait objet de multiples usages selon les zones géographiques et les pratiques socioculturelles. Ces usages vont de la transformation de grains comme ressource alimentaire ou médicinale à la valorisation de la paille (chaume) comme œuvres d'art, fourrage, biocarburant ou comme bois de chauffe (Hamadou et al., 2017). Du Roti

fabriqué à partir du mil perlé a été la principale nourriture des agriculteurs dans le Gujarat en Inde (FAO, 2009). En Afrique, les grains du mil sont souvent moulus en farine, roulés en grosses boules, étuvés, puis consommés sous forme de la patte, de la bouillie ou de la boulle. Le mil est parfois utilisé dans la fabrication des boissons alcoolisées dans certains pays. De ce fait, les mils représentent une composante unique de la biodiversité dans les systèmes de sécurité agricole et alimentaire de millions d'agriculteurs pauvres d'Afrique subsaharienne (Amadou et al., 2013). C'est une culture vivrière de subsistance majeure dans la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest où il constitue l'alimentation de base de plusieurs millions de personnes (David, 2000 ; Drame-Yayé et al., 2003; Abasse et al., 2013 ; Saleem et al., 2016 ; Goudiaby et al., 2018) bien que l'Inde soit le plus grand producteur (Bhattacharjee et al., 2007). En Australie et aux États-Unis, le mil constitue une plante fourragère très appréciée. Il est devenu, dans les États du Sud des États-Unis, comme la Géorgie, la plante fourragère annuelle d'été la plus cultivée avec une superficie annuelle d'environ 40 000 ha. Mais au Nebraska, il est cultivé pour les grains destinés à l'alimentation des volailles et des porcs (Hamadou et al., 2017).

Principale source d'énergie des millions de personnes au Sahel, le mil est la deuxième céréale riche non seulement en protéines, mais aussi en calcium et en fer. La quantité de lipides et de riboflavine le place en première position chez les céréales (Tableau 1) (Latham, 2001). En outre, la valeur énergétique du mil est l'une des plus élevées parmi les céréales (Nambiar et al., 2011).

En effet, le grain du mil contient environ 10,6% de protéines, 5,1% de lipides, 66,7% d'amidon, 1,3% de fibres brutes et 1,9% d'éléments minéraux (ROCAFREMI, 2002). Avec 8 à 19% de protéines et 56 à 65% des carbohydrates, la valeur nutritionnelle du mil est supérieure à celle du riz, du sorgho et du maïs (Saritha et al., 2017). Aussi, le grain du mil est sans gluten et il est le seul grain qui conserve ses propriétés alcalines après la

cuisson ce qui convient pour les personnes ayant une allergie au blé (Léder, 2004). Par ailleurs, les grains du mil sont plus pauvres en vitamines que ceux des autres céréales, exceptée la vitamine A (132 équivalents rétinol) contre 64 (blé) ; 0 (riz) ; 47 (sorgho) et 32 (maïs). La teneur en vitamine B1 (thiamine) varie de 0,375 à 1,006 mg / 100 g selon les variétés (Andrews et al., 1993). Il a été rapporté que le mil a de nombreuses fonctions nutritives et médicales (Yang et al., 2012).

Importance du mil au Niger

Au Niger, le deuxième pays producteur d'Afrique après le Nigeria, le mil se trouve être caractéristique des systèmes de culture les plus dominants (Hamadou et al., 2017). En effet, le mil est cultivé sur plus de 65% de la superficie emblavée et constitue 75% de la production céréalière totale du pays (Soler et al., 2008 ; IRD, 2009). La culture du mil est pratiquée dans toutes les zones de production (Dutordoir, 2006). Avec une production de 3 886 079 tonnes en 2016, le mil occupe la première place des céréales produites et consommées dans le pays (FAOSTAT, 2018). Les statistiques sur la production du mil au Niger de 1961 à 2016 montrent une forte augmentation aussi bien dans les quantités produites que sur les superficies emblavées. Ainsi, on passe de 776 000 tonnes pour 1 640 100 ha en 1961 à 1 765 532 tonnes pour 4 606 093 ha en 1990 puis à 3 886 079 tonnes pour 7 230 228 ha en 2016 (FAOSTAT, 2018). Cependant, cette augmentation significative de la production est liée à celle de la superficie (M.A, 2015) (Figure 2).

Par ailleurs, au Niger, une dizaine de repas sont issues de la transformation des grains du mil chez 85% de la population (Soumana, 2001 ; Saïdou, 2011; Amadou et al., 2013). Les grains de cette céréale sont consommés sous forme de boule, de bouillie, de couscous, de pâte ou sous forme des galettes (Figure 3), et sont utilisés pour la fabrication des boissons alcoolisées.

Le son, les feuilles et les tiges interviennent dans l'alimentation du bétail. Les tiges servent également dans la

construction des habitations et des enclos (Figure 4). Les glumes constituent une importante source d'énergie pour la cuisson des poteries.

BOTANIQUE

Origine et domestication

Les données archéologiques, ethnobotaniques et expérimentales sont encore trop éparses pour que l'histoire du mil puisse être détaillée avec certitude. Il paraît vraisemblable que le mil a été domestiqué indépendamment en plusieurs zones d'Afrique (Loumerem, 2004). Manning et al. (2011) rapportent que le mil serait originaire d'Afrique avant d'être exporté vers l'Asie dont l'Inde sous diverses appellations (Tableau 2). Pour Oumar et al. (2008), le mil a été probablement domestiqué en Afrique de l'Ouest, puis diffusé en Afrique et en Asie.

Les études archéologiques faites pour déterminer l'origine et le moment où le mil a été domestiqué (Tableau 3) montrent que c'est en Afrique de l'Ouest que la domestication est la plus avancée, ce qui laisse présager que cette région est le premier centre de domestication du mil (Moumouni, 2014 ; Hamadou et al., 2017).

En outre, compte tenu de la diversité de la différenciation morphologique, l'analyse des isozymes et la vérification au niveau de l'ADNr, on pourrait raisonnablement conclure que le mil, en tant que plante, est originaire d'Afrique de l'Ouest environ 4000 avant J-C. Le mil, domestiqué en Afrique de l'Ouest, s'est propagé rapidement et atteint l'Inde 3000 avant J-C où différents cultivars ont été mis au point faisant de cette région le 2^{ème} centre de diversification (JAICAF, 2009). Pour Ahmadi et al. (2002), le mil pénicillaire aurait été domestiqué au Sud du Sahara où existent les centres primaires de diversité renfermant des espèces cultivées et des espèces sauvages fertiles. En effet, il a été produit une grande quantité du mil dans les années 800-450 avant J-C dans la région de Nok, un des sites emblématiques du centre du Nigéria (Kahlheber et al., 2009). Le résultat de la datation par le carbone radio-isotope ont permis d'estimer que la plante a pu être

cultivée dans le Nord du Ghana environ 2500 à 3500 avant J-C (D'Andrea et al., 2001).

Mais, les publications les plus récentes situent la domestication du mil dans le troisième millénaire avant J-C aux environs de la Mauritanie ou du Nord-Est du Mali (Fuller et al., 2007). IRD (2009) estime que le mil est originaire du Niger et du Mali, ensuite sa culture s'est diffusée en Afrique équatoriale puis vers l'Inde, notamment grâce à une adaptation génétique à différents climats, un des facteurs clés de la domestication et de la diffusion des plantes cultivées. Aujourd'hui encore, l'Afrique de l'Ouest contient les formes du mil les plus domestiquées et les plus diverses entre elles, ce qui peut s'interpréter comme le produit de vieilles civilisations agraires fondées sur la culture du mil, acteurs de la domestication du mil depuis l'origine (Marchais et al., 1993).

Taxonomie

Le nom commun mil désigne, au sens large, plusieurs espèces de graminées dont, entre autres, *Pennisetum glaucum*, *Eleusine coracana*, *Panicum miliaceum*, *Setaria italica*, *Echinochloa crusgalli* (Saïdou, 2011). Le mil perlé ou mil à chandelle, *Pennisetum glaucum*, représente 40% de la production mondiale des mils (Yang et al., 2012). C'est aussi, l'espèce la plus couramment cultivée pour la consommation humaine et qui produit les plus gros grains (Mariac et al., 2006). Cette espèce appartient à la classification botanique consignée dans le Tableau 4.

La section Pénicillariae comprend, en plus des mils céréaliers cultivés, un certain nombre de formes d'aspect plutôt fourrager que l'on ne trouve à l'état spontané qu'en Afrique (Tostain et Marchais, 1993).

Le genre *Pennisetum* est constitué de 140 espèces et sous-espèces qui sont réparties dans les régions tropicale et subtropicale (Ahmadi et al., 2002 ; Upadhyaya et al., 2008). Ce genre est composé de trois pools géniques, dont le pool primaire est monospécifique et qui rassemble les trois sous-espèces de *P. glaucum* qui s'interfécondent naturellement en donnant des descendances fertiles. Le pool secondaire est

constitué de deux espèces *P. purpureum* et *P. squamulatum*, qui peuvent s'hybrider facilement avec *P. glaucum*. Le pool tertiaire regroupe les autres espèces du genre, soit une soixantaine. Il comprend les espèces de la section Brevivalvula parmi lesquelles on cite *P. polystachion*, *P. pedicellarum*, *P. subangustum*, *P. atrichum*, *P. hordeoides* et *P. setosum* qui s'étendent sur une large partie de l'Afrique, ainsi qu'au Proche-Orient et en Inde (Bezançon et al., 1997).

En simplifiant la taxonomie du mil, Brunken (1977) a regroupé l'ensemble des mils pénicillaires en une seule espèce polymorphique *P. typhoideum* (L.) Rich avec trois sous-espèces correspondant au mil cultivé (*Pennisetum glaucum subsp. glaucum*), au mil sauvage (*P. glaucum subsp. monodii*) et aux formes intermédiaires (*P. glaucum subsp. sternostachyum*).

Variabilité agronomique et génétique

Le mil est une espèce diploïde avec un génome composé de $2n = 14$ chromosomes (Manning et al., 2011 ; Saïdou, 2011). C'est une plante C4, préférentiellement allogame grâce à une protogynie prononcée et anémophile ce qui lui confère une grande hétérogénéité tant morphologique que génétique. L'émergence du stigmate précède celle de l'anthere, et ceci entraîne une exogamie élevée provoquée par le vent (Loumerem, 2004 ; Upadhyaya et al., 2008). La fréquence élevée de croisements spontanés entre espèces cultivées et espèces sauvages explique la forte variabilité observée au niveau des populations ou variétés du mil. Outre la sélection naturelle, la sélection par l'homme a permis une augmentation significative de cette variabilité (Ahmadi et al., 2002).

Il existe maintenant une collection de près de 20 503 échantillons du mils cultivés, cultivars traditionnels et mils sélectionnés confondus, originaires de 47 pays (Loumerem, 2004). A partir de quatorze (14) caractères botaniques, Marchais et al. (1993) concluent à l'existence de cinq (5) groupes géographiques pour l'Afrique de l'Ouest, alors que les autres grandes régions comme l'Inde ou l'Afrique

Australe forment des groupes peu divers et homogènes. Les principaux caractères qui permettent de discriminer les cultivars traditionnels sont la date de floraison, la hauteur des plantes, le diamètre des tiges, la longueur du premier épi et la production d'épis et de grains (Ouendéba, et al., 1995). Selon ces critères, les mils du Niger se rapprochent de ceux du Nigeria et du Sénégal. Les cultivars traditionnels correspondent cependant à une réalité paysanne et au choix délibéré d'un type plutôt que d'un autre. A titre d'illustration, on peut citer, pour le Niger, les groupes Haïni Kiré, Guerguéra et Zongo (variétés précoces de l'Ouest), les groupes Ba-Angouré, Ankoutess et Boudouma (variétés précoces de l'Est), le groupe Maïwa (variétés tardives de l'Ouest et du centre), auxquels il faut ajouter les mils d'oasis cultivés dans le massif de l'Aïr (Bezançon et al., 1997).

En utilisant le critère longueur du cycle, Ahmadi et al. (2002) classent les mils cultivés en Afrique en deux groupes : les mils hâtifs ou précoces (75 à 100 jours) et mils tardifs (110 à 150 jours). Les mils tardifs se rencontrent dans les zones où les pluies sont les plus abondantes et les mieux réparties (Bezançon et al., 1997). Ils sont nommés « Maiwa » ou Somno » au Niger et Nigeria, « Sanio » au Sénégal et Mali. Les mils tardifs sont photosensibles (jours courts) et fleurissent en fin Septembre dans les conditions du Niger. Ils sont surtout cultivés dans la partie Sud du pays où la pluviosité est élevée et étalée pour leur permettre d'accomplir leur cycle de développement. Leur contribution dans la production globale est inférieure à 10% (Illiassou, 2009). Les mils hâtifs ou précoces sont appelés « Guero » au Niger et Nigeria, « Souna » au Sénégal et Mali. Au Niger, les variétés améliorées mises au point par l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN) et actuellement vulgarisées ou en pré-vulgarisation (P3 Kolo, HKP, HKB, ZATIB, etc.) peuvent être classées en groupe à cycle intermédiaire (85 à 95 jours) et groupe à cycle court (80 à 85 jours). Ces variétés sont peu sensibles à la photopériode et fleurissent aux environs de 60 jours après le semis.

Description morphologique du mil

Le mil est une plante à port érigé, possédant des tiges épaisses et à hauteurs variant de 1,5 à 3 m, mais on peut trouver des mils de près de 4 mètres (Moumouni, 2014). L'appareil racinaire est de type fasciculé avec une seule racine séminale principale suivie de nombreuses racines adventives. Une des causes de la bonne adaptation du mil aux conditions pédoclimatiques de la zone semi-aride est son développement racinaire important, pouvant atteindre 300 cm de profondeur à la récolte (Ahmadi et al., 2002 ; ROCAFREMI, 2002).

Les tiges du mil sont dressées et rigides avec des entre-nœuds pleins (Bouzou, 2009). Les entre-nœuds de la base s'allongent en dernier et sont plus courts. Les nœuds de la base sont capables de donner des talles secondaires et tertiaires. Les nombres de talles productives varient de 1 à 7 (Anonyme, 2004). Le mil émet parfois des ramifications sur les nœuds supérieurs de la tige et donnent des panicules de petites dimensions (Illiassou, 2009).

Les feuilles alternes et à nervures parallèles s'insèrent au niveau des nœuds. Elles sont formées d'une gaine entourant complètement la tige et d'un limbe lancéolé (Anonyme, 2004). Ses feuilles sont longues, glabres, assez minces, lisses ou poilues et mesurent jusqu'à 1 m de long.

L'inflorescence est une panicule apicale raide, compacte des formes cylindrique et conique. Elle a généralement 2 à 3 cm de diamètre mais peut atteindre jusqu'à 18 cm de diamètre et 15 à 45 cm de longueur. Cependant, certains cultivars locaux (Zongo du Niger) peuvent atteindre 150 cm (Anonyme, 2004 ; Moumouni, 2014 ; Hamadou, 2015). Dans le descripteur du mil, on trouve 9 formes (Figure 5) de panicule (IBPGR & ICRISAT, 1993). La panicule est constituée par un rachis (axe central), droit, cylindrique, dur et épais de 8 à 9 mm. Il s'étend sur toute la longueur de l'inflorescence. Il est recouvert de poils doux et courts. Sur ce rachis sont implantés, par l'intermédiaire des pédicelles, les involucre formés par un bouquet de soies contenant les

épillet (Loumerem, 2004). Chaque panicule peut former 870 à 3000 épillets avec une moyenne de 1600 épillets. Il y a plusieurs types d'épillets : uniflores, biflores, triflores et jusqu'à six fleurs. Chaque épillet est constitué de deux (2) glumes dont une glume inférieure courte, plus large que longue, et une glume supérieure plus longue qui atteint environ la moitié de la longueur de l'épillet. La glume supérieure a une forme ovale et montre 3 à 4 nervures. Certaines des fleurs d'épillet sont fertiles et forment des caryopses (Moumouni, 2014 ; Hamadou et al., 2017).

Les fruits sont des caryopses enveloppés dans des glumes et glumelles. Les graines sont de 3 à 5 mm de long, obovale à globuleuses (Figure 6), (IBPGR & ICRISAT, 1993). Leur couleur varie du gris cendre à légèrement bleue. Certaines variétés sont de couleur brun-grise, brun-jaune et même noire (Figure 7).

Croissance et développement

Le cycle de croissance du mil peut être subdivisé en trois phases : végétative, reproductive et maturation des grains (Figure 8).

Phase végétative

La phase végétative a une durée de 30 à 50 jours, allant de l'émergence à la formation de la panicule. Elle commence par la germination de la graine et l'apparition des jeunes plantes, le tallage et continue jusqu'à l'initiation de la panicule (Maiti et Bidinger, 1981).

La germination est hypogée, c'est-à-dire qu'elle se fait entièrement sous terre. La graine germe au bout de 24 heures dans les bonnes conditions et la levée s'achève au bout de 2 à 5 jours après le semi (JAS). La racine apparaît la première ensuite les tiges et les feuilles. Environ 8 JAS, la racine ou la racine principale disparaît et est remplacée par des racines secondaires ou adventives (Adam, 2003).

Le tallage, émission des tiges secondaires à partir des tiges primaires, débute 15 jours après la levée et se poursuit pendant 10 à 20 jours. A ce stade, l'accumulation de

biomasse concerne essentiellement les feuilles et les racines (Anonyme, 2004).

L'élongation de la tige se produit par l'élongation séquentielle des entre-nœuds en commençant à la base : c'est la montaison. Les talles suivent les mêmes phases que la tige principale mais avec un léger retard (Loumerem, 2004). L'accumulation de la biomasse concerne la tige en plus des racines et des feuilles (Anonyme, 2004). L'initiation de la panicule est marquée par la transformation du bourgeon végétatif apical en bourgeon floral, synonyme du début de la phase suivante.

Phase de reproduction

Elle commence avec l'initiation de la panicule de la tige principale entre 22 et 30 jours après l'émergence (Anonyme, 2004). Cette phase comprend l'épiaison, la floraison et la fructification. Elle est marquée par le développement total des feuilles et par la sénescence des feuilles à la base de la tige principale et a une durée de 18 à 25 jours suivant les variétés (Loumerem, 2004).

Durant la montaison, la feuille paniculaire se renfle au niveau de la gaine 6 à 10 jours avant l'émergence de la panicule (= épi). Cette dernière subit une série de changements : différenciation des épillets, des glumes, des stigmates des fleurs et des anthères. Dès l'émergence de l'épi (épiaison), les parties femelles des fleurs s'épanouissent les premières par l'exposition des stigmates bifides blanchâtres (Figure 9). Les anthères ne s'épanouissent que trois à cinq jours après émergence de l'épi : c'est la floraison (Anonyme, 2004 ; Loumerem, 2004). En général, ce sont les pollens des anthères épanouies sur d'autres épis qui fécondent les ovaires de ceux qui émergent à la faveur du vent, des insectes ou autre source de pollinisation.

La fécondation conduit à l'œuf qui donne la graine : c'est la fructification ou nouaison. Au terme de sa croissance, l'épi constitue une masse allongée à l'intérieur de la feuille paniculaire au sommet de la tige.

Phase de maturation

La maturation est le développement progressif du caryopse ou fruit du sommet

vers la base de l'épi (Moumouni, 2014). Cette phase débute avec la fécondation des fleurs de la panicule principale et continue jusqu'à la maturité de toute la plante (tige principale et talles), (Loumerem, 2004).

Les grains atteignent leurs maturités en général 22 à 30 jours après la fécondation suivant la variété. L'accumulation de biomasse se produit surtout dans les caryopses mais peut continuer dans d'autres parties car les talles sont en retard du développement (Anonyme, 2004). Il s'agit d'une phase d'élaboration de substances de réserves (amidon, protéines), la migration de celles-ci vers l'albumen du grain et parallèlement la formation de l'embryon (Loumerem, 2004). En passant par 3 stades (laiteux, cireux et vitreux), les grains arrivent à la maturité physiologique 20 à 50 jours après la floraison selon les variétés (Dutordoir, 2006). Du stade laiteux à la maturité complète, les grains ont des caractéristiques différentes (Moumouni, 2014) :

- Au stade laiteux : le grain est brun verdâtre et laiteux.
- Au stade cireux ou pâteux : le grain atteint son aspect presque définitif, son contenu est pâteux.
- A la maturité complète : le grain est dur, à ce niveau on ne peut le casser avec l'ongle. On constate une déshydratation naturelle maximum. A ce stade, le grain prend sa couleur et sa taille définitive.

EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES

Les mils pénicillaires sont des graminées de zones semi-arides chaudes aux températures moyennes de 28 °C pendant la saison de culture qui dure trois à six mois (Ahmadi et al., 2002). Les températures les plus favorables pour le mil se situent entre 27 et 30 °C. Le mil est une plante à jour court quoiqu'il existe des variétés indifférentes à la longueur du jour. Une journée de 12 heures et une température de 28 à 30 °C conviennent à la croissance de la culture (Upadhyaya et al., 2008). Le mil exige pour son développement une somme de température de 2050 à 2550 °C. Ses températures de germination sont : 10

à 12 °C (minimum), 37 à 44 °C (optimum) et 44 à 50 °C (maximum), (Loumrem, 2004).

Le mil, moins exigeant que le sorgho, est généralement cultivé sur des sols légers et sablo-argileux bien drainés avec un pH faible. Il tolère la sécheresse et un faible niveau de fertilité des sols (Ahmadi et al., 2002). Au Niger, le mil est principalement cultivé sur les terres dunaires légères et sableuses, de faible fertilité. On le trouve parfois sur des terres plus fertiles, telles que les terres de terrasses sablo-argileuses ou sur les terres autour des cases réservées en priorité au maïs et parfois au sorgho (Moumouni, 2014). Dans les bas-fonds, il ne supporte pas les excès d'eau. Le mil talle peu ou pas du tout sur les sols durs, les sols lourds et dégradés (Illiassou, 2009).

La pluviométrie annuelle optimale de 350 à 500 mm bien répartie sur 75 jours au minimum, peut assurer une récolte du mil satisfaisante (Upadhyaya et al., 2008). Selon la précocité de la variété, Moumouni (2014) a fait la répartition suivante : de 600 à 1000 mm de pluies, on trouve surtout les mils tardifs et de 350 à 600 mm, on trouve des mils hâtifs. Des conditions de précipitation et d'humidité relative faibles sont souhaitables lors du mûrissement et de la maturation des graines (Upadhyaya et al., 2008). La culture est généralement pratiquée sans irrigation sur des sols pauvres en matière organique. Dans ces conditions de culture extensive, les rendements sont bas (moins de 1 tonne/ha).

CONTRAINTES A LA PRODUCTION DU MIL

De nombreuses contraintes pèsent sur la production agricole des céréales et du mil en particulier. Celles-ci sont à la base de la baisse du rendement du mil observée en milieu paysan. L'ensemble de ces contraintes peuvent être regroupées en deux catégories : abiotiques et biotiques.

Contraintes abiotiques

La réduction du rendement du mil est causée non seulement par un bilan hydrique déficitaire mais aussi par la baisse progressive de la fertilité des sols, la mise en culture des terres marginales, l'absence de jachère (BA et

al., 2014 ; Zakari et al., 2016). En effet, les zones semi-arides où le mil est fréquemment cultivé présentent une variation importante du point de vue pluviométrique. Cette variabilité va de 200 à 800 mm / an au Niger (Moumouni, 2014). Au Niger, la forte croissance démographique accélère la surexploitation des sols entraînant un appauvrissement des terres de culture et donc des rendements de plus en plus faibles. Face à la dégradation généralisée de la fertilité des sols, les agriculteurs ont systématiquement recours à la mise en valeur de nouvelles terres de culture (terres marginales) qui ne sont pas à vocation agricole (FAO, 2009). La variabilité des dates de semis en début de campagne, le semis à sec en cas de retard des pluies, les sécheresses possibles en cours de campagne et le peu d'intrants apportés au sol par les paysans constituent des contraintes importantes dans la croissance de la plante.

Contraintes biotiques

En dehors des contraintes abiotiques, la pression parasitaire est l'une des principales contraintes à l'élévation de la production du mil. En effet, le mil est attaqué par des ravageurs et ennemis de tous ordres : des maladies, des insectes, des adventices, des oiseaux.

Maladies

Des pertes importantes de rendement sont causées par diverses maladies (virus, champignons, bactéries, nématodes et autres) dont les plus importantes sont les maladies fongiques. Parmi elles figurent le mildiou, le charbon et l'ergot.

Mildiou du mil

Le mildiou causé par un champignon, *Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schröet, est la maladie du mil la plus importante en Inde et en Afrique de l'Ouest (Jogaiah et al., 2008 ; Sudhakar et al., 2012). La maladie a été rapportée pour la première fois par Butler (1907). 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 ; Thakur et al., 2008). Le mildiou du mil peut occasionner

des pertes de rendement de l'ordre de 20 à 40% (Thakur et al., 2011). Il 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. 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 (Thakur et al., 2003 ; Afiniki, 2005 ; Rao et al., 2005 ; Sharma et al., 2007 ; Wilson et al., 2008 ; Ati et al., 2015).

Charbon du mil

Le charbon, causé par *Tolyposporium penicilluriae* (Bref.) Vanky, occupe la deuxième place après le mildiou. Cependant, son impact sur les rendements est variable d'une zone à une autre et d'une année à l'autre (Mbaye, 1993). Il provoque des pertes directes des grains en les remplaçant par des sores de charbon, des structures remplies de téliospores. Ces pertes de rendement s'élèvent jusqu'à 30% (Thakur et King, 1988a). Les grains sont individuellement remplacés par des sacs ovales plus longs qu'eux. Ces sacs sont de couleur vert-foncé et deviennent brun ou noir à la maturité (Figure 10). La maladie est confinée au niveau de l'épi et atteint la plante à travers les stigmates au moment de la floraison. On lutte principalement contre le charbon en utilisant des variétés résistantes ou tolérantes ou en arrachant et en brûlant les plantes atteintes (Moumouni, 2014).

Ergot du mil

L'ergot ou maladie sucrée du mil est causé par *Claviceps fusiformis* (Loveless). C'est une maladie très répandue en Asie et en Afrique. Au Sahel, l'ergot est la troisième maladie la plus importante du mil. L'attaque de la plante a lieu dès la floraison et se caractérise par un écoulement de gouttelettes d'exsudats visqueux et sucrés mais toxiques au niveau des ovaires. Sur la chandelle, à la place des grains, il se forme des sclérotés (Figure 11), (Mbaye, 1993). Dans des conditions favorables au développement de la maladie

(forte humidité relative et protogynie longue) et en fonction de la variété cultivée, les pertes de rendement en grains peuvent atteindre 58-70% (Thakur et King, 1988b ; Mbaye, 1993). Les grains du mil attaqués par l'ergot, sous n'importe quelle forme, provoquent une intoxication et une somnolence chez l'individu (homme ou animal) qui l'aura consommé. Les méthodes de lutte les plus utilisées sont l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes, l'arrachage et le brûlage des plantes atteintes.

Insectes nuisibles au mil

Comparé aux autres céréales, le mil est attaqué par un nombre limité d'insectes. Ils peuvent cependant revêtir une grande importance dans certaines régions de production en Afrique de l'Ouest (Ahmadi et al., 2002 ; Nomaou et al., 2015). Gahukar (1990) rapporte que les principaux insectes ravageurs du mil peuvent être classés en cinq groupes : les ravageurs des plantules, les foreurs de tiges, les insectes phyllophages, les ravageurs de l'épi ou de la chandelle et les insectes des stocks. Certains de ces ravageurs ont été signalés comme étant économiquement très néfastes. Ils s'agissent de la mineuse de l'épi, des foreurs de tiges et des acridiens.

Chenille mineuse de l'épi

La chenille mineuse de l'épi, *Heliocheilus albipunctella* (De Joannis) a été décrite pour la première fois en 1925 par Joannis sous le nom de *Raghuva albipunctella* (Gaikobi, 1995). C'est un papillon commun au Sud du Niger. La femelle pond ses œufs au moment de l'émergence et de la floraison des épis du mil. Après éclosion, les chenilles restent sur l'épi et se nourrissent des grains avec création d'une mine autour du rachis de l'épi, pour compléter leur développement (Figure 12). A maturité, elles tombent à proximité de la plante et s'enfouissent dans le sol pour se transformer en nymphes. Près de 70% des épis peuvent être attaqués et les pertes de rendement peuvent atteindre 15% (Youm et Owusu, 1998). Les études de Krall et al. (1995) en zone sahélienne révèlent des pertes de rendement de l'ordre de 8 à 95% dues à ce ravageur.

Foreurs des tiges du mil

Environ une dizaine d'espèces de foreurs des tiges endommagent le mil à partir d'un mois et demi jusqu'à la récolte. Parmi ces espèces, deux se sont avérées les plus dangereuses : *Acigona (Coniesta) ignefusalis* et *Sesamia calamistis* (Hampson). Le premier est le plus important sur les variétés précoces et le deuxième sur les variétés tardives (Ndoye, 1982). L'espèce la plus abondante est *C. ignefusalis* et constitue un ennemi redoutable du mil dans les zones sahéliennes et soudaniennes d'Afrique de l'Ouest (Youm et al., 1998 ; David, 2000 ; Tanzubil et Mensah, 2000). Les larves du papillon détruisent les feuilles au cornet et pénètrent dans les nervures principales de la tige qu'elles creusent en se nourrissant de la moelle. À la saison sèche, la larve se met en diapause dans la tige jusqu'à la saison suivante. Selon Drame-Yaye et al. (2003), la sévérité et la nature des dommages dépendent de la date de semis et du moment de l'infestation.

Acridiens

Un grand nombre d'espèces d'acridiens (Locustes et Sautériaux) attaquent le mil dont une vingtaine sont susceptibles de revêtir une importance économique vu l'ampleur des dégâts qu'ils occasionnent (Launois, 1978). Parmi les Sautériaux, *Oedaleus senegalensis* (Krauss) par son abondance, sa capacité de migration et les dégâts causés dans les cultures en général et le mil en particulier est à l'origine d'importantes pertes financières subies par les agriculteurs. Cet insecte vit dans la zone tropicale sèche et se déplace rarement en zone désertique et pas du tout en zone tropicale humide (Mbaye, 1993). L'invasion est plus sévère durant la croissance végétative que pendant le stade de développement des grains. Cependant, ce type de criquet n'est grégaire qu'épisodiquement (Moumouni, 2014). L'espèce la plus dangereuse des locustes est le criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forsk.). Il forme régulièrement des essaims dévastateurs qui peuvent migrer sur de très longues distances. Les migrations sont déclenchées quand la population atteint une certaine densité. Cette situation rend cette

espèce particulière par sa capacité à passer de la phase solitaire à la phase grégaire (Obeng-Ofori et al., 1993). Ce criquet ravage tout ce qui est vert sur son passage et peut manger chaque jour son poids en verdure. En cas d'invasion, le criquet pèlerin peut causer des pertes de 100% sur le mil (Mbaye, 1993).

Adventices

Les adventices constituent un grand problème pour la culture du mil dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Le mil est généralement concurrencé par trois groupes d'adventices dont les Dicotylédones annuelles à larges feuilles, les Graminées annuelles (groupe le plus important des herbes nuisibles au mil) et les Cypéracées (Carson, 1988). Elles occasionnent des pertes de rendement de l'ordre de 30% au Sahel (Lagoke et al., 1988). En zone sahélienne, *Striga hermonthica* (Del.) Bent. constitue un des facteurs non négligeables responsables de la baisse du rendement du mil (Mbaye, 1993). C'est une plante parasite obligatoire qui vit au dépend du mil (Figure 13). Elle infeste plus de 40% des superficies de production céréalière et cause une perte de rendement comprise entre 90 et 100% certaines années (Wilson et al., 2000). Il est possible de contrôler l'infestation de *S. hermonthica* en réduisant la quantité de semences dans le sol et en augmentant la fertilité du sol par les techniques culturales (Wilson et al., 2004).

Oiseaux

Les attaques d'oiseaux sur les épis du mil sont fréquemment observées avec des dégâts assez élevés. Les ravages causés par les oiseaux granivores sont surtout importants dans les vallées et bassins des fleuves (fleuve Sénégal, boucle du Niger et bassin du Lac Tchad). Les espèces les plus dangereuses sont *Quelea quelea* (travailleur à bec rouge), *Q. erythrops* (travailleur à tête rouge), *Ploceus cucumillatus* (le gendarme), *Passer luteus* (moineau doré). Ces espèces sont polyphages et les pourcentages des dégâts sur mil varient de 10 à 30% et parfois plus, surtout sur les variétés précoces qui mûrissent avant les autres (Mbaye, 1993).

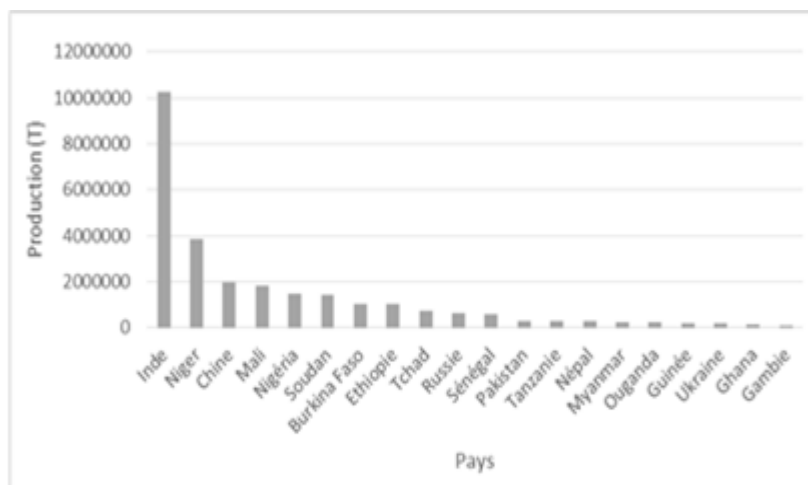


Figure 1 : Production mondiale du mil (année 2016). Les vingt premiers pays producteurs sont représentés (Source des données : FAOSTAT, 2018)

Tableau 1: Teneur en certains nutriments contenus dans 100 g d'une sélection de céréales (Latham, 2001).

Aliments	Energie (kcal)	Protéines (g)	Lipides (g)	Calcium (mg)	Fer (mg)	Thiamine (mg)	Riboflavine (mg)	Niacine (mg)
Maïs	368	9,4	1	3	1,3	0,26	0,08	1
Riz	361	6,5	1	4	0,5	0,08	0,02	1,5
Blé	341	9,4	1,3	15	1,5	0,1	0,03	0,7
Mil perlé	341	10,4	4	22	3	0,3	0,22	1,7
Sorgho	345	10,7	3,2	26	4,5	0,34	0,15	3,3

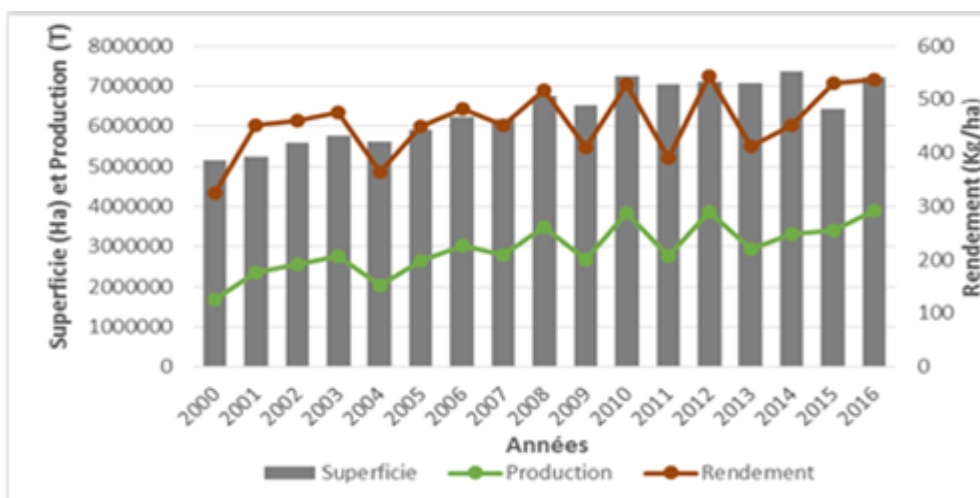


Figure 2 : Evolution de la superficie (Ha), de la production (T) et du rendement (Kg/ha) du mil au Niger de 2000 à 2016 (Source des données : FAOSTAT, 2018)



Figure 3 : Pate du mil (A), roulers en boule du mil (B), bouillie à base du mil (C), galette du mil (D), (Photo: Halilou, 2018)



Figure 4 : Classe construite avec des tiges du mil (A), farine des chaumes du mil broyées pour l'alimentation des animaux (B), (Photo : Halilou, 2018)

Tableau 2: Origines et noms communs des mils (Moumouni, 2014).

Culture	Noms communs	Origine supposée
<i>Pennisetum glaucum</i>	Mil chandelle, mil perlé, bajra	Afrique occidentale tropicale
<i>Eleusine coracana</i>	Eleusine cultivée	Ouganda ou région avoisinante
<i>Setaria italica</i>	Millet des oiseaux	Asie de l'Est (Chine)
<i>Panicum miliaceum</i>	Millet commun	Asie centrale et orientale
<i>Panicum italica</i>	Petit mil	Asie du Sud-Est
<i>Echinochloa crusgalli</i>	Moha du Japon	Japon
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	Millet indigène	Inde

Tableau 3: Études archéologiques sur la domestication du mil perlé (Blench, 2012).

Régions	Pays	Sites	Dates	Références
Afrique	Mauritanie	Dhar Tichitt	1936-1683 avant J-C	Amblard (1996)
	Mali	Karkarichinkat	2500-200 avant J-C	Manning et al. (2011)
	Burkina Faso	Ti-n-Akof	1035-916 avant J-C	Neumann (1999)
	Nigéria	Nok	800-450 avant J-C	Kahlheber et al. (2009)
	Ghana	Birini	1980-1520 avant J-C	D'Andrea et al. (2001)
	Cameroun	Abang	400-200 avant J-C	Höhn et al. (2007)
Asie	Inde	Rangpur	1800-1200 avant J-C	Herman (1997)

Tableau 4 : Classification botanique du mil (Saïdou, 2011).

Critère botanique	Classification
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae (Gramineae)
Sous-famille	Panicoideae
Tribu	Paniceae
Sous-tribu	Panicineae
Section	Pénicillariae
Genre	<i>Pennisetum</i>
Nom binomial	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.

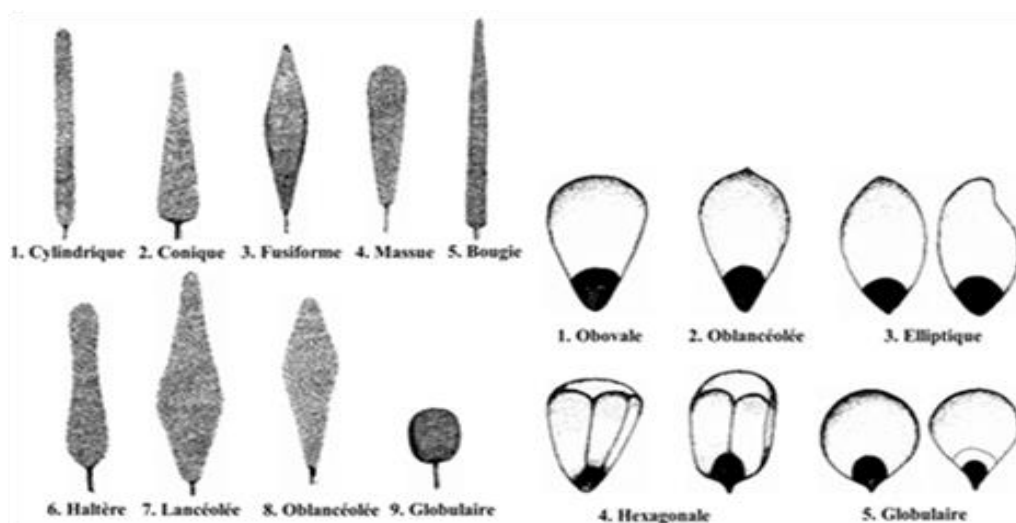


Figure 5 : Formes de la panicule du mil (IBPGR-ICRISAT, 1993)

Figure 6 : Formes du grain du mil (IBPGR-ICRISAT, 1993)



Figure 7 : Classes des couleurs des grains du mil (Haussmann, 2007)

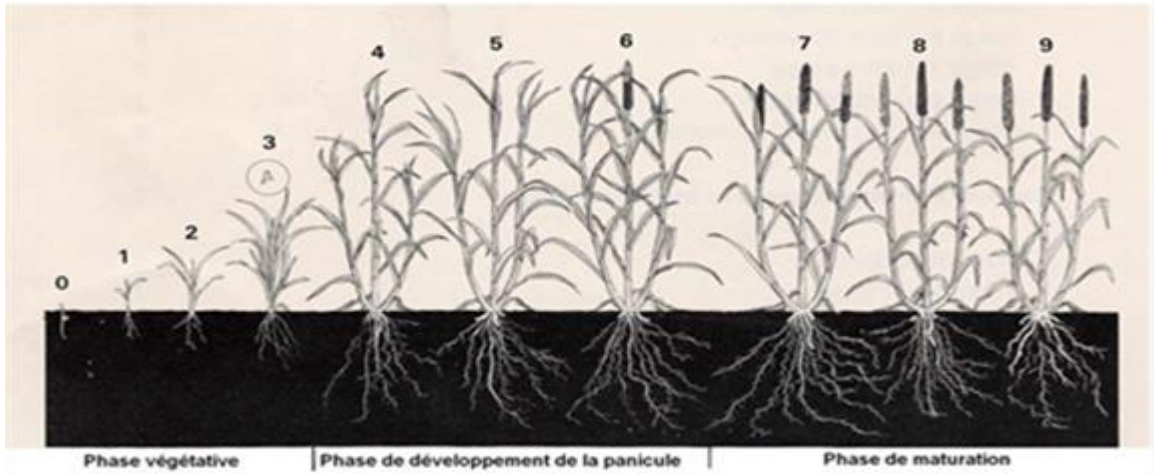


Figure 8 : Phases de la croissance et du développement du mil (Maiti et Bidinger, 1981)



Figure 9 : Protogynie du mil : sortie des stigmates (A) suivie de celle des anthères (B), (Photo : Halilou, 2017)



Figure 10 : Sores verdâtres (A) et sores à maturités (B), (Thakur et King, 1988a)



Figure 11 : Exsudats toxiques (A) et sclérotés secs (B) dus à *Claviceps fusiformis* (Loveless), (Moumouni, 2014)



Figure 12 : Chenille mineuse de l'épi du mil, *Heliocheilus albipunctella* (De Joannis)



Figure 13 : Infestation du *Striga hermonthica* dans un champ du mil (Photo : Halilou, 2017)

Conclusion

Parmi les espèces végétales cultivées en zone arides et semi-aride, le mil se trouve être la plante la plus populaire. C'est une culture de subsistance conditionnant la sécurité alimentaire dans certains pays du Sahel. Au Niger, le mil occupe la première place des céréales produites et consommées. Mais sa production est entravée par une gamme des contraintes aussi bien abiotiques que biotiques. En ce qui concerne les contraintes biotiques, les foreurs de tiges et la maladie du mildiou du mil causent les plus des dégâts. La gestion de ces deux fléaux pourrait apparaître comme une approche intéressante pour augmenter la production du mil et résoudre le problème d'insécurité

alimentaire des pays sahéliens en général et du Niger en particulier.

CONFLIT D'INTERETS

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

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AK et HH ont contribué à la rédaction et la correction du manuscrit, IK a contribué par le conseil technique et la correction du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements à l'équipe du laboratoire de phytopathologie du CERRA Maradi. Ils

remercient également à travers le CERRA de Maradi, l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN) pour avoir mis à leur disposition les ressources matérielles nécessaires à la mise en œuvre de cette étude.

REFERENCES

- Abasse T, Yayé A, Aboul Habou Z, Adamou AI, Adam T. 2013. Influence des Parcs agro-forestiers à *Piliostigma reticulatum* sur l'infestation des plants de mil par les insectes floricoles et *Coniesta ignefusalis* (Hmps) (Lépidoptère: Pyralidae) dans la zone d'Aguié au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, **66**: 5140–5146. <http://www.m.elewa.org>
- Adam T. 2003. Cours d'Agriculture Spéciale Agro3. Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey.
- Afiniki BZ. 2005. Early sowing and métalaxyl 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)
- Ahmadi N, Chantreau J, Hekimian Lethève C, Marchand JL., Ouendeba B, 2002. Le mil. In *Mémento de l'agronome: Les céréales*. CIRAD-GRET (ed). Ministère des Affaires étrangères ; 17-23.
- Amadou I, Mahamadou EG, Guo-Wei Le. 2013. Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing - A Review. *Emir. J. Food Agric*, **25**(7): 501-508. DOI: 10.9755/ejfa.v25i7.12045
- Andrews DJ, Rajewski JF, Kumar KA. 1993. Pearl millet: New feed grain crop. In *New Crops*, Janick J, Simon JE (eds). Wiley : New York ; 198-208.
- Anonyme. 2004. Evaluation de l'impact de techniques d'intensification sur la production de mil à l'échelle du territoire du Niger, p. 186
- 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. 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 d mil, *Pennisetum glaucum* (L.). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(3): 1039-1048. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.18>
- Bashir EMA, Ali AM, Ali AM, Melchinger AE, Parzies HK, Haussmann 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>
- Bezaçon G, Renno JF, Anand Kumar K. 1997. Le mil. In *L'amélioration des Plantes Tropicales*, André Charrier MJ, Hamon S, Nicolas D (eds). CIRAD et ORSTOM; 457-482.
- Bhattacharjee R, Khairwal IS, Bramel PJ, Reddy KN. 2007. Establishment of a pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] core collection based on geographical distribution and quantitative traits. *Euphytica*, **155**: 35 – 45. DOI 10.1007/s10681-006-9298-x
- Blench RM. 2012. The contribution of vernacular names for pearl millet to its early history in Africa and Asia. RIHN Symposium 'Small millets in Africa and Asia' Tokyo, September 19-20th, 2010. p.12
- Bouzou IM. 2009. Evaluation de l'effet du compost enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil. Mémoire, Université de Niamey, Niamey, p.52.

- Brunken JN. 1977. A systematic study of Pennisetum (Gramineae). *Am. J. Bot.*, **64**(2): 161-176. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb15715.x>
- Butler EJ. 1907. Some diseases of cereals caused by *Sclerospora graminicola*. *Calcutta*, **2**: 1-24.
- Carson AG. 1988. Contrôle des mauvaises herbes dans la production du mil dans le Sahel. *Sahel PV INFO N°2*. 12-13.
- D'Andrea AC, Klee M, Casey J. 2001. Archaeological evidence for pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Sub-Saharan West Africa. *Antiquity*, **75**: 341-348. DOI: 10.1017/S0003598X00060993
- David RH. 2000. Chemical ecology and mating behaviour of the millet pests *Coniesta ignefusalis* and *Heliocheilus albipunctella*. Final technical report. Natural Resources Institute, Chatham Maritime, Kent ME4 4TB. 1 April 1996-31 March 2000. p. 32.
- Drame Yayé A, Youm O, Ayertey JN. 2003. Assessment of grain yield losses in pearl millet due to the millet tem borer, *Coniesta ignefusalis* (Hampson). *Insect Sci. Applic.*, **23**(3): 259-265. <http://digitalcommons.unl.edu/entomologyfacpub/328>
- Dutordoir CD. 2006. Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Mémoire, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, p.214.
- FAO. 2009. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- FAOSTAT. 2018. FAO.doc_12_Mars_2018_12h12.doc. www.fao.org/faostat/fr/
- Fuller DQ, Macdonald K, Vernet R. 2007. Early domesticated pearl millet in Dhar Nema (Mauritania): evidence of crop processing waste as ceramic temper. In *Fields of Change: Progress in African archaeobotany*, René C (ed). Barkhuis & Groningen University Library, Groningen; 71-76.
- Gahukar RT. 1990. Population ecology of *Acigona ignefusalis* Hampson (Lepidoptera: Pyralidae) in Senegal. *Environmental Entomology*, **19**(3): 13-19. DOI: 10.1093/ee/19.3.558
- Gaikobi D. 1995. Etude de la dynamique des populations et de la distribution spatiale au champ de *Coniesta ignefusalis*, chenille foreuse des tiges et de *Heliocheilus albipunctella*, chenille mineuse des épis. Mémoire, Ecole Nationale des Cadres Ruraux de Bambey (ENCR), Bambey, p. 45.
- 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>
- Goudiaby MF, Sarr I, Sembene M. 2018. Source of resistance in pearl millet varieties against stem borers and the ear head miner. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **6**(1): 1702-1708. <http://www.entomoljournal.com>
- Hamadou BH. 2015. Evaluation de trois méthodes de lutte contre le mildiou du mil (*Sclerospora graminicola*): variété, densité et traitement. Mémoire, Université Dan Dicko Dankoulodo De Maradi (UDDM), Maradi ; p. 69.
- Hamadou M, Idrissa S, Mahamadou C, Oumarou S, Valentin K. 2017. Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : Revue de littérature. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **34**(2): 5424-5447. <http://www.m.elewa.org/JAPS>
- Hausmann BIG. 2007. Données récoltées dans la base de données du Programme de sélection du mil à l'ICRISAT.
- IBPGR ET ICRISAT. 1993. Descripteurs du mil pénicillaires [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br]. Conseil international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie; Institut International de Recherches sur les Culture des Zones

- Tropicales Semi-arides, Patancheru, Inde ; p. 49.
- Illiassou Y. 2009. Evaluation de l'effet de l'application périodique de l'urine hygiénisées sur la culture de mil (*Pennisetum glaucum*). Mémoire, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey ; p. 39.
- IRD (Institut de Recherche pour le Développement). 2009. Le mil, aliment du futur au Sahel. Fiche N°325 - Juillet 2009 ; p. 2.
- JAICAF (Association pour la Collaboration Internationale en matière d'Agriculture et des Forêts du Japon). 2009. Les céréales au Niger "accent sur le mil et le sorgho", p.117
- Jogaiah S, Ananda KS, Shekar SH, 2008. Characterization of downy mildew isolates of *Sclerospora graminicola* by using differential cultivars and molecular markers. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 7: 41-55. <http://jcmb.halic.edu.tr>
- Kahlheber S, Bostoen K, Neumann K. 2009. Early plant cultivation in the Central African rain forest: first millennium BC pearl millet from South Cameroon. *Journal of African Archaeology*, 7(2): 253-272. DOI 10.3213/1612-1651-10142
- 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>
- Kholova 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>
- Krall S, Youm O, Kogo SA. 1995. Panicle insect pest damage and yield loss in pearl millet. In *Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International Consultative Workshop*, Nwanze KF, Youm O (ed). ICRISAT Center Patancheru: Patancheru; 135-145.
- Lagoke STO. 1988. *Striga* in Nigeria. In *Proceedings of All, African Government: Consultation on Striga control*. FAO/OAD (éds): Maroua, Cameroun; 68-75.
- Lakshmana D. 2008. Genetic diversity, heterosis 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, p. 168.
- Latham MC. 2001. La nutrition dans les pays en développement. FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie. Disponible à <http://www.fao.org/docrep/>[cité le 7 Août 2018].
- Launois M. 1978. Modélisation écologique et simulation opérationnelle en Acridologie : application à *Oedaleus senegalensis* (Krauss). Ministère de la Coopération, GERDAT, Paris, p. 214.
- Léder I. 2004. Sorghum and Millets. In *Cultivated Plants Primarily as Food Sources: Encyclopedia of Life Support Systems* (EOLSS), György Füleky (ed). UNESCO, Eolss Publishers : Oxford, UK ; 1-17.
- Loumerem M. 2004. Etude de la variabilité des populations de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) cultivé dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes. Thèse, Université de Gen, Gen, p. 266.
- M.A (Ministère de l'Agriculture). 2015. Résultats Définitifs de la Campagne Agricole d'Hivernage 2014 et Perspectives Alimentaires 2014-2015. Direction des statistiques, p. 32.
- Maiti RK, Bidinger FR. 1981. Growth and development of the pearl millet plant. *Research Bulletin N°6*, ICRISAT Patancheru, Patancheru, p. 19.
- Manning K, Pelling R, Higham T, Schwenniger J-L, 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>
- Marchais L, Tostain S, Amoukou I. 1993. Signification taxonomique et évolution de la structure génétique des mils pénicillaires. In *Le Mil en Afrique : Diversité Génétique et Agro-physiologie: Potentialités et Contraintes pour l'Amélioration Génétique et l'Agriculture*, Serge H (éds). ORSTOM : Paris ; 119-127.
- Mariac C, Luong V, Kapran I, Mamadou A, Sagnard F, Deu M, Chantereau J, Gerard B, Ndjeunga J, Bezancon G, Pham J, Vigouroux Y. 2006. Diversity of wild and cultivated pearl millet accessions [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] in Niger assessed by microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet*, **114**: 49–58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00122-006-0409-9>
- Mbaye DF. 1993. Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel: Etat des connaissances et perspectives. In *Le Mil en Afrique : Diversité Génétique et Agro-physiologie: Potentialités et Contraintes pour l'Amélioration Génétique et l'Agriculture*, Serge H (éds). ORSTOM : Paris ; 173-186.
- Moumouni KH. 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 de Québec, Québec, p. 111.
- Nambiar VS, Dhaduk J, Sareen N, Shahu T, Desai R. 2011. Potential functional implications of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in health and disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, **1**(10): 62-67. <http://www.japsonline.com>
- Ndoye M. 1982. Programme de recherches entomologiques du mil de l'ISRA (1ère réunion des Comités Scientifiques Nationaux du Projet Régional d'Amélioration des mils, sorgho, niébé, maïs) du CILSS à Tarna, Niger, ISRA/CNRA de Bambey, p.6.
- Nomaou DL, Yadji G, Abdourahamane 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>
- Obeng-Ofori D, Torto B, Hassanali A. 1993. Evidence for mediation of two releaser pheromones in the aggregation behavior of the gregarious desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forsk.) (Orthoptera: Acrididae). *J. Chem. Ecol*, **19**(8): 1665-1676. DOI: 10.1007/BF00982299
- Ouendeba B, Eieta G, Hanna WW, Kumar KA. 1995. Diversity among African pearl millet landrace populations. *Crop Science*, **35**: 919-924. DOI: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500030048x
- Oumar I, Mariac C, Pham JL, Vigouroux Y. 2008. Phylogeny and origin of pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L] R. Br.) as revealed by microsatellite loci. *Theor Appl Genet*, **117**: 489-497. DOI: 10.1007/s00122-008-0793-4
- 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>
- ROCAFREMI. 2002. Sélection et Mise à Disposition des Paysans de Variétés et de Semences Appropriées. Des Résultats du Projet P1 : 1991-1996.
- Saïdou A. 2011. Etude moléculaire, évolution et caractérisation de gènes impliqués dans l'adaptation du mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] aux changements climatiques. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, Montpellier, p. 236.

- Saleem R, Ashraf M, Khalil IA, Anees MA, Javed HI, Saleem A. 2016. GGE Biplot - A Windows Based Graphical Analysis of Yield Stability and Adaptability of Millet Cultivars Across Pakistan. *Academia Journal of Biotechnology*, **4**(5): 186-193. DOI: 10.15413/ajb.2015.0250
- Samba T, Minamba B, Birama SC, Adama C. 2015. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l’Afrique de l’Ouest : une condition sine qua none pour l’augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. *Research Gate*. p.26. <https://www.researchgate.net/publication/237827087>
- Saritha A, Durgaraju C, Srivastava RK, Kanakadurga K, Reddy N, Sharma R, Katiyar P, Dangi KS. 2017. Genetic Variability for Downy Mildew Disease Incidence in Mapping Population Parents of Pearl Millet. *Int. J. Pure App. Biosci*, **5**(4): 689-697. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.5467>
- 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
- Soumana I. 2001. Bilan diagnostic sur la production du mil et du Sorgho au Niger. Initiative pour le développement des mils et sorghos en Afrique de l’Ouest et du Centre: Un pilotage par l’aval", www.hubrural.org/IMG/pdf/mil-sorgho-niger.pdf
- Sudhakar R, Reddy PN, 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/20_IJBSM
- Sumathi P, Madineni S, Veerabadhiran 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/eplantbreeding/vol-1-4>
- Tanzubil PB, Mensah GWK. 2000. Incidence and distribution of the stem borer, *Coniesta ignefusalis* (Hampson) (Lepidoptera: Pyralidae), in cereal crops in northern Ghana. *Ghana Jnl agric. Sci.*, **33**: 63-70. DOI: 10.4314/gjs.v33i1.1885
- Thakur RP, King SB. 1988a. Smut disease of pearl millet. Information Bulletin N° 25. Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, p. 20.
- Thakur RP, King SB. 1988b. Ergot disease of pearl millet. Information Bulletin N° 24. Patancheru, A.P. 502 324. India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, p. 27.
- 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. <http://ejournal.icrisat.org>
- 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://www.oar.icrisat.org/JMycolPIPathol>

- Thakur RP, Sharma R, Rao VP. 2011. 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, p. 56
- Tostain S, Marchais L. 1993. Evaluation de la diversité génétique des mils (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.) au moyen de marqueurs enzymatiques et relations entre formes sauvages et cultivées. In *Le Mil en Afrique : Diversité Génétique et Agro-physiologie: Potentialités et Contraintes pour l'Amélioration Génétique et l'Agriculture*, Serge H (éds). ORSTOM : Paris ; 33-56.
- Upadhyaya HD, Reddy KN, Sastry DVSSR. 2008. Directives pour la régénération: mil à chandelles. In: Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]: CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Dulloo ME, Thormann I, Jorge MA, Hanson J (ed). Italy, Rome, 1-10.
- Wilson JP, Hess DE, Hanna WW, Kumar KA, Gupta SC. 2004. *Pennisetum glaucum* subsp. *monodii* accessions with *Striga* resistance in West Africa. *Crop Prot*, **23**: 865-870. <http://www.sciencedirect.com>
- Wilson JP, Hess DE, Hanna WW. 2000. Resistance to *Striga hermonthica* in wild accessions of the primary gene pool of *Pennisetum glaucum*. *Phytopathology*, **90**(10):1169-1172. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.10.1169>
- Wilson JP, Sanogo MD, Nutsugah SK, Angarawai I, Fofana A, Traore H, Ahmadou I, Muuka FP. 2008. Evaluation of pearl millet for yield and downy mildew resistance across seven countries in sub-Saharan Africa. *African Journal of Agricultural Research*, **3**(5): 371-378. <http://digitalcommons.unl.edu/intormilpubs/33>.
- Yadav OP, Rai KN. 2013. Genetic Improvement of Pearl Millet in India. *Agric Res*, **2**(4): 275 – 292, DOI: 10.1007/s40003-013-0089-z
- Yang X, Wan Z, Perry L, Lu H, Wang Q, Zhao C, Li J, Xie F, Yu J, Cui T, Wang T, Li M, Ge Q. 2012. Early millet use in northern China. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **109**(10): 3726-3730. DOI: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1115430109>
- Youm O, Maliki Y, Hall DR, Farman DI. 1998. Trials of mating disruption against the millet stem borer, *Coniesta ignefusalis* Hampson (Lepidoptera: Pyralidae) in Niger, 1996-1998. Appendix 1, p. 21
- Youm O, Owusu EO. 1998. Assessment of yield loss due to the millet head miner *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae) using a damage rating scale and regression analysis in Niger. *Int. J. Pest Manage*, **44**(2): 119-121. DOI: 10.1080/096708798228428
- Zakari AH, Mahamadou B, Adam T. 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>.