



## Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : Revue de littérature

Moussa Hamadou<sup>1,2</sup>, Soumana Idrissa<sup>1</sup>, Chaïbou Mahamadou<sup>3</sup>, Souleymane Oumarou<sup>1</sup>, Kindomihou Valentin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, BP 429 Niamey, Niger

<sup>2</sup>Laboratoire d'Écologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

<sup>3</sup>Département des Productions Animales, Facultés d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

\* Auteur correspondant, E-mail : [ahmadoumsa@gmail.com](mailto:ahmadoumsa@gmail.com), Tel : (+227) 96 55 47 94/ 90 33 93 66

**Mots clés** : changements climatiques, fourrage, mil, Sahel

**Key words** : climate change, fodder, millet, Sahel

### 1 RÉSUMÉ

Dans ce contexte de déficit fourrager, devenu structurel en terroir sahélien, du fait des changements climatiques et de la pression démographique, le mil est de plus en plus exploité comme une plante fourragère ou du moins une plante à double fin (grain et fourrage) dans le souci d'assurer la sécurité alimentaire du bétail. Au Niger, le mil se trouve être caractéristique des systèmes de culture les plus dominants. Adapté aux conditions édaphiques et climatiques difficiles, il pourrait bien suppléer aux déficits fourragers induits par les changements climatiques du contexte. Cependant, bien que la recherche sur le mil ait fait l'objet d'une production abondante d'articles de recherche depuis plusieurs décennies, il est aisé de constater que peu d'études ont abordé des thèmes sur les potentialités fourragères du mil dans la littérature scientifique. Ce travail, basé sur une ample revue de littérature vise à dresser un panorama des grandes thématiques de recherche sur le mil d'une part et à documenter les performances fourragères du mil d'autre part. Les thèmes de recherche en cours sur le mil tournent essentiellement autour des domaines tels que : la conservation de la diversité des ressources génétiques, la recherche des variétés résistantes (ou tolérantes) à la sécheresse, l'étude sur les gènes encodant l'adaptation au changement climatique (découverte du gène PHYC), la stérilité mâle cytoplasmique, l'utilisation de gènes de nanisme et de l'apomixie pour fixer la vigueur hybride. Cette synthèse bibliographique offre une large vision des travaux de recherche conduits dans la sphère scientifique mondiale et permet de mieux orienter les futures recherches à mener dans le domaine de la production du mil à des fins fourragères.

The Potential of Millet fodder (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) : A review

### ABSTRACT

In this context of forage deficit, which has become structural in the Sahelian terroir, due to climate change and demographic pressure, millet is increasingly exploited as a forage plant or at least a double-purpose plant (grain and forage) in the concern to ensure the food security of livestock. In Niger, millet is found to be characteristic of the most dominant cropping systems. Adapted to difficult edaphic and climatic conditions, it may well compensate for climate-induced fodder deficits in the context. However, although research on millet has been the subject of an abundant production of research articles for several decades, it is easy to see that few studies have addressed topics on the potential forage of



millet in the scientific literature. This work, based on an extensive literature review, aims to provide an overview of the major research topics on millet on the one hand and to document millet's forage performance on the other. Current research themes on millet revolve around areas such as: conservation of the diversity of genetic resources, research of resistant (or tolerant) varieties to drought, the study of genes encoding adaptation to climate change (PHYC gene discovery), cytoplasmic male sterility, use of dwarfism genes and apomixis to fix hybrid vigor. This bibliographic synthesis provides a broad view of the research carried out in the world scientific sphere and makes it possible to better guide future research in the field of millet production for fodder purposes.

## 2 INTRODUCTION

La rareté et la cherté des ressources fourragères est remarquable en milieux urbain où les coûts de production deviennent de ce fait, de plus en plus insupportables en zone sahélienne (Pamo *et al.*, 2004; Kiema *et al.*, 2008; Chaïbou *et al.*, 2012). Cette situation invite à la recherche d'alternatives fourragères adéquates à partir des espèces locales afin de résorber ce déficit fourrager. Mais, il est évident qu'en général suivant les objectifs de production et/ou les zones agroécologiques, les plantes cultivées pour les usages alimentaires assurent également une part plus ou moins importante des besoins fourragers des animaux d'élevages locaux. Dans les régions semi-arides du monde principalement en Afrique et en Asie, le mil est l'une des cultures céréalières les plus répandues. 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 ; FAOSTAT, 2016). Dans le contexte nigérien, le mil se trouve être caractéristique des systèmes de culture les plus dominants. Adapté aux conditions édaphiques et climatiques difficiles, il pourrait bien suppléer aux déficits fourragers induits par les changements climatiques du contexte (Chaïbou *et al.*, 2012). En effet, c'est la céréale alimentaire qui est essentiellement cultivée pour son grain et peu pour son fourrage (Amoukou, 1993 ; Okpara et Omaliko, 1995 ; Amodu *et al.*, 2001, 2007; Govindaraj *et al.*, 2011; Bashir *et al.*, 2014; Pucher *et al.*, 2014). Le mil emblave 7,358247 millions d'hectares au Niger, soit 17% de l'Afrique et d'Asie avec une

production de 3 862 155 t (FAOSTAT, 2016). Le rendement moyen du mil au champ est très faible (0,4 t/ha au champ versus 2,5 t/ha en station ; JAICAF, 2009). Le mil représente 75% de la consommation totale de céréales au Niger (FAO, 2000), assurant de ce fait la sécurité alimentaire au Niger avec une dizaine de repas issues de la transformation du grain (pâte (*kourbakourba*), boule (*donou*), couscous, bouillie, *dégné*, beignets) chez 85% de la population (Soumana, 2001; Saïdou, 2011; Amadou *et al.*, 2013). Le mil est une plante C<sub>4</sub>, résistante à la sécheresse, tolérant les sols sableux acides et peu fertiles, plus plastique que le sorgho et le maïs (Bélaïr *et al.*, 2005). Il produit plusieurs talles par plant (Mangat *et al.*, 1999). Le millet perlé est le plus productif des espèces de mil dans les conditions d'aridité et de sécheresse (Dendy, 1995). Le mil est hautement palatable et riche en protéines, minéraux et en énergie (Andrews *et al.*, 1993; Michaud *et al.*, 2002). La valorisation du fourrage du mil pourrait donc être envisagée (Chaïbou *et al.*, 2012). En effet, les écotypes de mil locaux montraient une abondante production de biomasse variant de 6 à 12 t/ha avec un indice de récolte très faible (rapport grain/paille <20 % contre 30 % chez les variétés améliorées) (Kumar, 1989). Cependant, il est remarqué dans la zone sahélienne que la culture du mil à but fourrager demeure inexistante. Pourtant, les potentialités fourragères du mil sont avérées par bien des travaux en Australie, au Canada et aux États-Unis (Mustafa *et al.*, 2004; Bouchard *et al.*, 2011; Bernardes, 2012; Sheahan, 2014). Dans ce



contexte de déficit fourrager, devenu structurel en terroir sahélien, du fait des changements climatiques et de la pression démographique, le mil est de plus en plus exploité comme une plante fourragère ou du moins une plante à double fin (grain et fourrage) dans le souci d'assurer la sécurité alimentaire du bétail (Vall *et al.*, 2008; Hiernaux *et al.*, 2014). Cette nouvelle tendance à la valorisation dans l'alimentation animale de certaines céréales alimentaires comme le mil, semble imputable aux effets des changements climatiques sur les ressources alimentaires et pastorales. Quel phénomène a-t-il favorisé aussi rapidement la reconversion des ressources alimentaires (pour les humains) en ressources fourragères ?

De telles innovations technologiques dans les pratiques paysannes apparaissent à bien

d'égards comme une stratégie d'adaptation aux changements climatiques (Amoukou, 2009 ; Dugué, 2012). En effet, les stratégies d'adaptation aux changements climatiques intègrent à l'échelle paysanne, le ramassage systématique des résidus post-récolte voire la « marchandisation » des résidus de récolte et de la paille de brousse (Fall *et al.*, 1997; Karimou et Atikou, 1998; Gouro et Ly, 2014). Ce travail n'a pas la prétention de faire un état de l'art exhaustif des études menées sur les organes du mil, mais plutôt de donner un aperçu général des aspects les plus abordés jusqu'à présent chez le mil dans le but de mieux appréhender les nouveaux enjeux qui motive une valorisation de plus en plus importante de la paille du mil dans l'alimentation animale en zones arides et semi-arides.

### **3 IMPORTANCES ET STATISTIQUES DE LA PRODUCTION DU MIL**

Le mil occupe la 6<sup>ème</sup> place parmi les céréales les plus importantes au monde (JAICAF, 2009). Au moins 500 millions de personnes dépendent du mil pour leur survie (Saïdou, 2011). La culture du mil couvrait plus de 33,11 millions d'hectares en 2013 dans le monde. Elle se répartit principalement dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique avec 21,12 millions d'hectares cultivés pour une production de 15 millions de tonnes, et de l'Inde où la production du mil atteint 10,9 millions de tonnes sur une superficie de 9,2 millions d'hectares (FAOSTAT, 2016). Les principaux pays producteurs en Afrique sont, par ordre d'importance décroissante 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 (Grema, 2002). Les statistiques sur

la production du mil au Niger de 1961 à 2014 (figure 1) montrent une forte augmentation aussi bien dans les quantités produites que sur les superficies emblavées. A titre d'exemple on passe de 776000 t de mil pour 1640100 ha en 1961 à 581300 t pour 1692900 ha en 1975 puis de 3321753 t pour 7358247 ha en 2014 respectivement pour la quantité produite et la superficie emblavée. Par ailleurs, en Australie et aux États-Unis, le mil constitue une plante fourragère très appréciée (Yadav, 1996). Il est également 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 le grain destiné à l'alimentation des volailles et des porcs (Yadav, 1996).

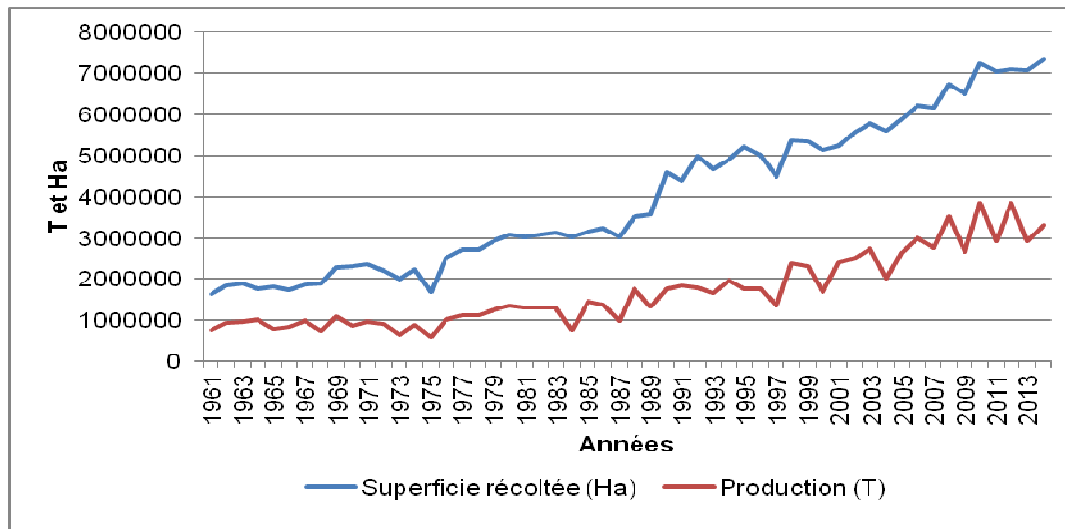


Figure 1 : Évolution de la production (tonne) du mil au Niger de 1961 à 2014 (FAOSTAT, 2016).

#### 4 BOTANIQUE

##### 4.1 Origine et domestication du mil :

L'origine probable du mil est située dans la partie centrale du désert du Sahara en Afrique de l'Ouest. Les évidences archéologiques ont été la découverte d'un grand nombre de graines de mil dans les ruines de Birimi dans le nord du Ghana (Manning *et al.*, 2011). Le résultat de la datation par le carbone radio-isotope a permis d'estimer que la plante a pu être cultivée dans cette région environ 2500 à 3500 avant J-C (D'Andrea *et al.*, 2001). Le mil domestiqué en Afrique de l'Ouest s'est propagé rapidement

pour atteindre l'Inde 3000 avant J-C où différents cultivars ont été mis au point faisant de cette région le 2<sup>ème</sup> centre de diversification (Manning, 2010). 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 (tableau 1). Aujourd'hui la plus grande diversité morphologique du mil se trouve au sud de l'Afrique de l'Ouest, au nord de la zone de forêt (Marchais *et al.*, 1993).

Tableau 1 : Études archéologiques sur la domestication du mil perlé

Régions	Pays	Dates	Auteurs
Afrique	Mauritanie	1936-1683 avant J-C	Amblard-Pison (1996)
	Mali	2500-2000 avant J-C	Manning <i>et al.</i> , (2011)
	Burkina Faso	1035-916 avant J-C	Neumann (1999)
	Nigéria	800-450 avant J-C	Kahlheber <i>et al.</i> , (2009)
	Ghana	1980-1520 avant J-C	D'Andrea <i>et al.</i> , (2001)
	Caméroun	400-200 avant J-C	Höhn <i>et al.</i> , (2008)
Asie	Inde	1800-1200 avant J-C	Blench (2012)

Source : Adapté de Blench (2006)

##### 4.2 Taxonomie :

Le mil appartient au genre *Pennisetum*, famille des Poaceae (*Gramineae*), sous-famille des *Panicoideae* et tribu des Paniceae. Le genre *Pennisetum* est constitué par 140 espèces et sous-espèces qui sont réparties dans les régions tropicale et

subtropicale. Il est divisé en cinq sections. Le mil appartient à la section *Penicellariae*, qui se caractérise par la présence d'une mince touffe de poils au sommet des anthères et un nombre haploïde de chromosomes qui est égal à 7 ou un multiple de 7. Mais la section *Penicillaria*



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 (Bezançon *et al.*, 1997; Tostain et Marchais, 1993). Le genre *Pennisetum* est ainsi regroupé en 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 (Andrews *et al.*, 1993). En simplifiant la taxonomie du mil, Brunken

(1977) a regroupé l'ensemble des mils (mil cultivé et mil sauvage) en une seule espèce biologique avec trois sous-espèces:

*Pennisetum americanum* subsp. *americanum*, auquel appartiennent toutes les formes cultivées anciennement décrites sous l'appellation 'typhoïdes';

*P. americanum* subsp. *Monodii* correspond au mil sauvage et auquel se rattachent les formes spontanées appelées anciennement 'P. violaceum Lam.', 'P. mollissimum Hoscht' et 'P. ramosissimum Steud.'; et

*P. americanum* subsp. *Stenostachum* qui regroupe toutes les formes intermédiaires entre les deux précédentes (Kumar, 1993).

## 5 CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT DU MIL

**5.1 Phase végétative :** La phase végétative du mil est de 30 à 50 jours, allant de l'émergence à la formation de la panicule. Cette phase commence par la germination de la graine et l'apparition des jeunes plantes, et continue jusqu'à l'initiation de la panicule (Maiti et Bidinger, 1981).

**5.2 Phase reproductive :** 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 (Loumrem 2004). L'élongation de la tige se produit par l'élongation séquentielle des entre-nœuds en commençant à la base. Les talles émergent et subissent l'initiation, le développement des feuilles suivant le même principe que celui de la tige principale. La feuille paniculaire se renfle au niveau de la gaine 6 à 10 jours avant la floraison. La panicule commence à fleurir dès son apparition complète. Un jour après l'émergence complète des stigmates, les anthères commencent leur apparition à partir du haut de l'épi (Loumrem, 2004; Maiti et Bidinger, 1981).

**5.3 Phase de maturation :** Cette phase commence par la pollinisation des fleurons de la panicule principale et continue jusqu'à la maturité de la plante. La période de maturation

est caractérisée par l'élaboration de substances de réserve (amidon, protéines) et par la migration de celles-ci vers l'albumen du grain ; parallèlement, l'embryon se forme. Au cours de cette période, le grain passe successivement par le stade 'laiteux', le stade 'pâteux', le stade 'demi-dur', le stade 'dur' et enfin le stade de 'sur maturité' marquant la fin de la dessiccation du grain (Loumrem, 2004).

**5.6 Description botanique du mil :** Le mil est une graminée annuelle. C'est l'unique espèce diploïde avec  $x = 7$  ( $2n = 14$  chromosomes) de la section *Penicillaria* du genre *Pennisetum* de la famille des *Poaceae*, sous-famille *Panicoideae*, tribu des *Paniceae* (Tostain et Marchais, 1993). Le mil est une plante bisexuée, hermaphrodite, allogame préférentielle grâce à une protogynie prononcée (Andrews, 1993 ; Do, 1994). Le mil a un port érigé et possède des tiges épaisses. A maturité et suivant les variétés, la taille de la plante varie de 1 à 6 m de haut. Chaque nœud de la tige porte un bourgeon axillaire susceptible de donner dans certaines conditions une pousse axillaire (talle aérienne). Des racines adventives partent des nœuds de la base de chaque tige. Le tallage est important et peut aller jusqu'à 40 tiges par plante (Vietmeyer, 1996) (figure 2).



**Figure 2 :** Plante de mil avec plusieurs talles

Le mil est constitué de tiges densément velues, solides et pleines. Ses feuilles sont longues, glabres et assez minces. Celles-ci peuvent être lisses ou poilues et mesurer jusqu'à 1 m de long. Les panicules du mil sont raides, compactes, cylindriques et coniques. Elles ont généralement 2 à 3 cm de diamètre mais peuvent 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 (Moumouni, 2014). La longueur du cycle de culture, du semis à la récolte, peut s'étendre entre 60 et 180 jours respectivement pour les variétés les plus précoces et les plus tardives (Loumrem, 2004). Le mil est une plante à rachis dressé, cylindrique, solide, ayant souvent 8 à 9 mm de diamètre et sans aucune ramification. Celui-ci

s'étend sur toute la longueur de l'inflorescence et est couvert de poils courts. 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. Ces derniers sont aussi larges que longs mais varient d'une forme globuleuse à obovale. Leur couleur varie du gris cendre à légèrement bleue ; certaines variétés sont de couleur brun-gris, brun-jaune et même noire (figure 3).



Figure 3 : Classes de couleurs de grains de mil (Hausmann, 2007).

## 6 VARIABILITÉ AGROMORPHOLOGIQUE ET GÉNÉTIQUE

Les variétés de mil peuvent être classées en deux grands groupes précoce et tardif selon la pluviosité des régions dans lesquelles elles sont cultivées. Les plus tardives se rencontrent dans les zones où les pluies sont les plus abondantes et les mieux réparties. A partir de 14 caractères botaniques, (Marchais *et al.*, 1993) concluent à l'existence de 6 groupes géographiques pour l'Afrique de l'Ouest, distincts du groupe de l'Afrique australe et du groupe de l'Inde. 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 Siaka, 2004). 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'Air (Bezançon *et al.*, 1997).

### 6.1 Exigences environnementales du mil

: Le mil est une plante à jour court quoiqu'il existe des variétés indifférentes à la longueur du

jour (Vietmeyer 1996). Le mil exige, pour son développement, une somme de température de 2050 à 2550°C. Ses températures de germination sont: 10-12°C (minimum), 37-44°C (optimum) et 44-50°C (maximum) (Loumrem, 2004) Le mil est une céréale plus tolérante à la sécheresse que le sorgho et le maïs et peu exigeante sur la nature du sol. Le mil se caractérise par une forte aptitude à mettre en place des mécanismes physiologiques qui lui permettent de tolérer la sécheresse (Bezançon *et al.*, 1997; Moumouni *et al.*, 2015) : (i) une exploitation rapide des conditions favorables d'humectation du sol par une croissance relativement élevée liée à son cycle photosynthétique en C4; (ii) une plasticité de développement qui contrôle l'augmentation de la surface foliaire en fonction des conditions favorables de croissance en évitant une consommation excessive de la réserve en eau du sol; (iii) un volume d'exploration du sol important par les racines suivant les besoins en eau de la plante et; (iv) la sénescence plus ou moins rapide des talles non fructifères, en réduisant la surface foliaire pendant la phase de remplissage des grains.



**6.2 Composition chimique du grain du mil:**

Comparé aux autres céréales telles que le riz, le blé et le maïs, le mil a une valeur nutritionnelle élevée (Gupta, 2009; Amadou *et al.*, 2013) (tableau 2). Il pourrait bien remplacer le maïs dans la ration des volailles sans réduire

le rendement en aliments utiles et le taux de croissance. En effet, en Géorgie (USA), les poules nourries au grain de mil croissent plus rapidement et sont en meilleure santé que celles nourries aux grains de maïs, de sorgho, de triticale et/ou de blé (Andrews *et al.*, 1993).

Tableau 2: Composition chimique du mil et d'autres céréales (Nambiar *et al.*, 2011b).

Constituants	Mil	Blé	Riz	Sorgho	Maïs
Protéines (g)	11,6 ; 11,8* ; 8# ; 11**	11,8	11,6	10,4	4,7
Matières grasses (g)	5,0 ; 4,8* ; 2,4# ; 5,0**	1,5	0,5	1,9	0,9
Fibres (g)	1,2 ; 2,3* ; 2,2**	1,2	0,2	1,6	1,9
Carbohydrates (g)	67,5 ; 67* ; 57# ; 69**	71,2	78,2	72,6	24,6
Minéraux (mg)	2,3	1,5	0,6	1,6	0,8
Calcium (mg)	42 ; 42* ; 25**	41	10	25	9
Phosphore (mg)	296	306	160	222	121
Fer (mg)	8 ; 11* ; 3,0**	5,3	0,7	4,1	1,1
Zinc (mg)	3,1 ; 2,2#	2,7	1,4	1,6	-
Sodium (mg)	10,9 ; 5#	17,1	-	7,3	51,7
Magnésium (mg)	137 ; 106#	138	90	171	40
Vitamine A (RE)	132	64	0	47	32
Thiamine (mg)	0,33 ; 0,38* ; 0,30# ; 0,3**	0,45	0,06	0,37	0,11
Riboflavine (mg)	0,25 ; 0,21* ; 0,15**	0,17	0,06	0,13	0,17
Niacine (mg)	2,3 ; 2,8* ; 3,2# ; 2,0**	5,5	1,9	3,1	0,6
Acide folique (mg)	45,5	36,6	8	20	-
Vitamine C (mg)	0	0	0	0	6

\* Hulse *et al.*, (1980): Conseil National des États-Unis pour la Recherche /Académie Nationale des Sciences. Tielsch et Sommer (1984).

# Source: (<http://www.wholehealthmd.com/refshelf/Foods/view/1>)

\*\* Les plantes cultivées, principalement comme sources alimentaires : le sorgho et le mil, Iren Leder (2004), Valeur nutritive des Aliments Indiens, NIN (2003).

**6.2.1 Hydrates de carbone :** Le mil est plus riche en hydrates de carbone que le maïs (tableau 2). Le mil a une haute teneur en fibres variant de 1,2 à 2,2g/100g de grain (NIN, 2003). Les grains du mil, ont un faible indice de glycémie (IG=55), le mil conviendrait alors, à certains égards pour traiter des diabétiques (Mani *et al.*, 1993). Cependant, bien d'autres graminées sont confondues au mil, notamment l'éleusine (*Eleusine coracana*), le millet commun (*Panicum miliaceum*), le millet des oiseaux (*Setaria italica*), le fonio blanc (*Digitaria exilis*), le fonio noir (*Digitaria iburua*), le fonio à grosses graines (*Brachiaria deflexa*), le Teff (*Eragrostis tef*) (FAO, 2000). Des travaux de précision sont donc

nécessaires pour spécifier les effets de chaque espèce sur les traitements du diabète rapportés sur le mil.

**6.2.2 Protéines :** Le mil a des teneurs de 8 à 60 % plus élevée en protéines brutes et 40% plus riche en acide aminé lysine et méthionine. La teneur en lysine du mil est de 21% et 36% plus élevée que respectivement pour le maïs et le sorgho (Amadou *et al.*, 2013). 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 (Iren Leder, 2004).

**6.2.3 Lipides :** Les grains du mil sont 2 fois plus riche en lipides libres que ceux des céréales



standard avec des teneurs variant de 3 à 7,4% contenant 2 à 12 mg/100 g d'acides gras libres, 75% d'acides gras non-saturés et de 24% d'acides gras saturés (Ramulu et Rao, 2003). La digestibilité des matières grasses était plus élevée chez le mil que chez le maïs (Adeola et Orban, 1994).

**6.2.4 Vitamines :** Les grains du mil sont plus pauvres en vitamines que ceux du maïs, exceptée la vitamine A (132 équivalents rétinol contre 64 (blé) ; 0 (riz) ; 47 (sorgho) et 32 (maïs) (tableau 2). La teneur en vitamine B1 (thiamine) varie de 0,375 à 1,006 mg/100 g selon les variétés (Andrews *et al.*, 1993; Jayaraman, 2002). Dans les pays du tiers monde, les ressources en vitamine A sont très limitées et le mil peut aider à résoudre ce problème si l'on sélectionne des variétés plus riches en vitamine A (Jayaraman, 2002).

## 7 RÔLES ET UTILISATIONS DU MIL

Le mil représente une céréale de base pour les populations des zones arides et semi-arides. En outre, la valeur énergétique du mil est l'une des plus élevées parmi les céréales (Nambiar *et al.*, 2011a). Ainsi, le mil fait objet de multiples usages selon les zones géographiques et les pratiques socioculturels. Ces usages vont de la transformation du grain comme ressource alimentaire ou médicinale à la valorisation de la paille (chaume) comme œuvres d'art ou comme fourrage en passant par les usages comme biocarburant ou bois de chauffe.

**7.1 Valeur fourragère du mil :** Le mil fourrager est une culture populaire aux États-Unis et en Australie, avec une utilisation de plus de 10 hybrides pour différents attributs : rendement élevé, plusieurs coupes (par saison), une qualité supérieure, une tolérance aux maladies et à la sécheresse (Hanna et Gupta, 1999). Aux États-Unis, 500 000 hectares de mil sont plantés chaque année, principalement avec les cultivars Tifleaf et Ghai. Environ 10 % des troupeaux de bovins laitiers dans certains États aux États-Unis sont nourris au mil fourrager, tandis que 40 à 83 % des vaches sont nourries au maïs fourrager. Pour ces vaches, le mil contribue pour environ 30 % de l'ensemble de

**6.2.5 Minéraux:** Le mil est plus riche que le maïs en phosphore, 3 fois plus en fer et 5 fois plus en calcium (Tableau 2) Des traces de baryum, chrome, cobalt, cuivre, plomb, manganèse, molybdène, nickel, argent, strontium, étain, titanium, vanadium, zinc et d'iode ont également été observées (Rooney et McDonough, 1987).

**6.3 Facteurs antinutritionnels chez le grain du mil:** Le grain du mil renferme un certain nombre de composés antinutritionnels tels que : les polyphénols et le tannin, l'acide phytique, le phytate et l'acide oxalique (Irén Léder, 2004). Les polyphénols et les composés tanniques sont concentrés dans le son. Le décorticage diminue de manière significative la quantité de tanins avec une augmentation correspondante de la digestibilité des protéines (Irén Léder, 2004).

la ration (diète) et de 50 à 60 % de la nourriture en fourrage (Fribourg, 1995). Le mil fourrager est principalement cultivé au sud des États-Unis, utilisé sous forme de pâturage, coupe en vert, ensilage, foin sec ou comme engrais vert (Bouchard *et al.*, 2011). Le mil est une bonne alternative aux autres plantes fourragères en raison des rendements en biomasse élevés en courtes saisons, sa capacité à tolérer les conditions chaudes et sèches et à produire un fourrage de bonne valeur nutritive (Hassanat *et al.*, 2006; Kanani *et al.*, 2014). La productivité du mil fourrager est supérieure à celle des autres graminées annuelles, particulièrement en condition de sécheresse (Jaster *et al.*, 1985). Les rendements en biomasse du mil fourrager varient de 3 à 55 t MS/ha selon les conditions climatiques, l'hybride, et le type de sol (Bishnoi *et al.*, 1993; Gray *et al.*, 2000). Messman *et al.*, (1992) indiquent 6,9 t MS/ha en une saison humide fraîche, pendant que Banks and Stewart (2003) ont signalé un rendement de 12 t MS/ha. Par ailleurs, Loumrem (2004) trouve en station à Médenine (Tunisie) des rendements de mil fourrager de 51,9 t MS/ha. En outre, le mil fourrager ne produit pas de l'acide prussique, cause d'intoxication aiguë chez les animaux



(Andrews et Kumar, 1992). Par ailleurs, il est produit au Canada, du mil sucré sélectionné à partir des écotypes de mil fourrager qui est cultivé pour son jus sucré en vue de l'éthanol et du résidu fourrager pressé valorisable en ensilage, potentiel à diversifier les revenus agricoles (Bernardes, 2012). Au Niger, après la récolte des panicules de mil, la paille qui en reste connaît une multitude d'usages dans l'alimentation du bétail dont entre autres : l'abandon des chaumes au champ pour les animaux en pâture libre, la récolte et le hachage de la paille pour en distribuer aux animaux. Cependant, avec l'avènement des broyeurs (machines conçues localement) de fourrage grossier, il est constaté un engouement pour l'utilisation de la paille de mil dans l'alimentation du bétail au Niger. L'utilisation du broyeur a permis entre autre la valorisation des ressources alimentaires locales et l'amélioration de l'appétibilité des fourrages grossiers tels que la paille de mil (Soumana *et al.*, 2016).

**7.1.1 Valeur nutritive du mil fourrager:** Le mil fourrager contient des protéines brutes de 15% supérieure à celle des fourrages d'hybrides sorgho-soudan au Dakota Nord USA (Sedivec et Schatz, 1991). Michaud *et al.*, (2002) rapportent qu'au Québec, la teneur en azote total du mil fourrager était de 15 g/kg MS,

contre 3,6 g/kg MS chez le maïs fourrager (Drapeau *et al.*, 2002). De même, les teneurs en azote total du fourrage augmentent avec la fertilisation azotée (Leblanc *et al.*, 2012). La teneur en N des feuilles était plus élevée que celle des tiges (16 g/kg MS versus 5 g/kg MS) et se compare à un ensilage de maïs (14,6 g/kg MS) (Tremblay *et al.*, 2005a). Les teneurs en NDF (fibres insolubles dans les détergents neutres) et ADF (fibres insolubles dans les détergents acides) sont corrélées négativement avec la consommation volontaire de MS et la valeur énergétique du fourrage. Les teneurs en NDF (644 g/kg MS) et ADF (336 g/kg MS) du mil fourrager sont supérieures à celles de maïs fourrager (Banks et Stewart, 2003; Mustafa *et al.*, 2004). Par ailleurs, la composition chimique du mil (fourrager) varie selon les cultivars, le stade de développement à la récolte et des conditions de croissance (tableau 3). Le mil ne produit pas de l'acide prussique, mais peut contenir du nitrate, de l'acide oxalique et des alcaloïdes avec des concentrations inférieures aux niveaux qui affecteraient la palatabilité du fourrage, la santé des animaux ou leurs performances (Andrews et Kumar, 1992). Le NDF avec les protéines brutes représentent près de 80% de la matière sèche du fourrage du mil.

Tableau 3 : Composition chimique du fourrage du mil comparée à d'autres fourrages

Composition chimique (g/kg.MS)	Mil	Maïs	Sorgho
NDF	580-685	540	605
ADF	313-425	295	379
Lignine	35-63	49	83
Fibres	90-180	86	133
Dégradabilité	640-690	730	630
Énergie nette de lactation (Mcal/kg)	1,3-1,5	2,3	1,1

Source : Banks et Stewart (2003)

La concentration en lignine du fourrage du mil est similaire à celle du sorgho et du maïs lorsqu'il est récolté au stade floraison, alors que les composés phénoliques étherifiés aux parois cellulaires étaient plus faibles chez le mil que chez le sorgho ou le maïs (Hassanat *et al.*,

2007a). Les tiges de mil contenaient des teneurs en lignine similaires à celles du sorgho et du maïs lorsque la récolte est effectuée au stade formation de graines (Lam *et al.*, 1996). La digestibilité in vitro du NDF du mil récolté en pleine floraison était de 520 à 650 g/kg de



NDF et pour les tiges récoltées au stade pâteux, elle varie de 420 à 530 g/kg de NDF (Thorstensson *et al.*, 1992). Par ailleurs, la digestibilité des NDF du mil récolté au stade végétatif pour les génisses laitières était similaire à celle du sorgho et du maïs et en moyenne 510 g/kg de NDF (Ward *et al.*, 2001), tandis que le fourrage du mil récolté au stade de démarrage pour nourrir des moutons indiquent en moyenne 700 g/kg de NDF (Cherney *et al.*, 1990).

**7.1.2 Effets de la date de récolte sur la valeur nutritive du fourrage :** Les tiges de mil fourrager récoltées à l'épiaison contenaient 14% plus de fibres ADF et 11% plus de fibres NDF que celles récoltées au stade végétatif, alors que dans les feuilles, seule la teneur en lignine augmentait de 43% avec la récolte plus tardive. Il a été démontré que la digestibilité *in vitro* de la matière sèche des tiges du mil fourrager était beaucoup plus élevée au stade végétatif qu'à l'épiaison (660 g/kg MS versus 452 g/kg MS). En outre, les ensilages du mil fourrager et du mil à nervure brune étaient de meilleures qualités lorsque les cultivars sont récoltés au stade végétatif plutôt qu'à l'épiaison (Hassanat *et al.*, 2007b).

**7.1.3 Ensilage du mil fourrager :** La teneur en matière sèche du fourragère du mil au moment de la récolte est généralement faible (< 250 g/kg) et varie largement selon le stade de la maturité (Hanna et Gupta, 1999). Les carbohydrates hydrosolubles sont le substrat des bactéries lactiques qui produisent des acides organiques lors de l'ensilage. La présence d'une concentration adéquate de carbohydrates hydrosolubles afin de produire suffisamment d'acides qui réduiraient le pH de l'ensilage à un point stable est un impératif pour la réussite de l'ensilage. La concentration moyenne de carbohydrates hydrosolubles du mil est de 100g/kg de MS (Han *et al.*, 2006) et varie selon le cultivar, le stade de maturité et de l'heure de la journée au moment de la récolte (Buxton et O'Kiely, 2003).

**7.1.4 Mil fourrager et les performances animales :** La valeur alimentaire du fourrage du mil et celle de l'ensilage du maïs sur des

génisses ont été comparées. Les concentrations de protéines brutes, NDF et ADF observés étaient de 40, 35 et 47% respectivement, plus élevée dans l'ensilage du mil alors que la concentration des glucides non structuraux était de 50 % inférieure à celle observée dans l'ensilage de maïs (Hill *et al.*, 1999). Le gain moyen quotidien (GMQ) était de 0,5 kg plus élevé pour les génisses nourries à l'ensilage de maïs par rapport à ceux nourris à l'ensilage du mil (Hill *et al.*, 1999). Des génisses Holstein consommaient 1 kg.MS/jour de plus d'ensilage de mil que celles nourries au fourrage ensilé du sorgho. Les vaches laitières nourries au fourrage de mil ensilé perdaient 0,8 kg de poids corporel/j et avaient 18% de moins de l'apport de MS que celles recevant l'ensilage de maïs. Cela a été dû principalement à 22% NDF et 4 % de moins pour l'énergie nette de lactation dans la ration du mil (Messman *et al.*, 1992; Ward *et al.*, 2001). Toutefois, les vaches ayant reçu la ration de l'ensilage du mil produisaient 23,3 kg/j de lait qui contenait 3,7 % de matière grasse et 3,2 % de protéines, mais non significativement différent du groupe de vaches nourries à l'ensilage de maïs. Cependant, Bernardes (2012) penchait pour des rendements similaires des animaux sur l'ensilage du mil ou le maïs lorsque les régimes sont iso-caloriques.

**7.2 Mil comme biocarburant :** Les biomasses utilisées pour la fabrication d'éthanol peuvent se distinguer en fonction de la matière première, soit les biomasses amylicées, sacchariques et cellulosiques. La biomasse cellulosique dont le millet perlé sucré fait partie, est avantageuse, du fait que l'efficacité de la fermentation et le bilan énergétique sont supérieurs à ceux des biomasses amylicées. Le mil sucré a été dès lors saisi pour produire de l'éthanol au Canada (Bernardes, 2012).

**7.3 Valeur médicinale :** Le mil attire beaucoup l'intention grâce à ses effets thérapeutiques (Hanane, 2013). La richesse des grains de mil en calories fait d'ailleurs que sa consommation est spécialement recommandée aux enfants, aux convalescents, aux personnes âgées et aux femmes enceintes (Bekoye, 2011). La consommation du mil est également très



indiquée pour les personnes souffrant d'anémie à cause de sa richesse en fer (Amadou *et al.*, 2013).

### **7.3.1 Consommation du mil et la pellagre:**

Le contenu minéral global du mil est de 2,3 mg/100g, ce qui est élevé par rapport aux céréales couramment consommées. Il est riche en vitamines B, en potassium, phosphore, magnésium, fer, zinc, cuivre et manganèse (Ramulu et Rao, 2003). Les noyaux mûrs des grains de mil séchés ne contiennent pas de vitamine C et les vitamines B sont concentrées dans la couche d'aleurone et le germe. Le retrait de la coque par décorticage réduit les niveaux de thiamine, riboflavine et niacine par environ 50% dans la farine. La teneur en niacine dans les graines de mil décortiquées est toujours importante. C'est pourquoi la maladie de la carence en vitamine B3, la pellagre, n'a pas été trouvée dans les zones où la consommation du mil est très importante (Irén Léder 2004; Nambiar *et al.*, 2011a).

### **7.3.2 Consommation du mil et l'anémie:**

Le millet perlé contient une quantité élevée de fer (8mg/100g) et de Zinc (3,1mg/ 100g) (NIN, 2003), qui peut aider à augmenter le taux d'hémoglobines. Cependant, la présence de plusieurs non-nutriments tels que les phytates et les polyphénols peut diminuer la biodisponibilité du fer (Sharma et Kapoor, 1996, Nambiar *et al.*, 2011a; Hanane, 2013).

### **7.3.3 Consommation du mil et la constipation:**

La teneur élevée en fibres (1,2g/100g) du mil peut être largement utilisé pour préparer des aliments pour les personnes qui ont besoin d'alimentation riche en fibres, en particulier, il est utile dans le traitement de l'obésité et des problèmes de constipation (Ramulu et Rao, 2003).

### **7.3.4 Consommation du mil et le cancer:**

Le mil contient un niveau élevé de composés phénoliques antioxydants surtout des flavonoïdes, pouvant inhiber le développement des tumeurs par conséquent, ceux-ci peuvent avoir des propriétés anticancéreuses. Ces composés sont concentrés dans le péricarpe et les testas. Étant donné que traditionnellement, l'ensemble du grain du mil est moulu, les

produits fabriqués à base de la farine offriraient des bienfaits pour la santé par les flavonoïdes et les phénols (Nambiar *et al.*, 2011a).

**7.4 Valeur artisanale du mil:** Dans les zones de production du mil notamment en Afrique, il est observé après la récolte des panicules, que les tiges (chaumes) sont utilisées pour servir de combustible ou pour la confection de nombreux œuvres d'arts entrant dans la construction des greniers, des maisons, des portes ou des lits traditionnels.

**7.5 Valeur socioculturelle du mil:** Le mil fait l'objet de diverses considérations sociales dans certaines sociétés africaines qu'il s'agisse du suivi des itinéraires techniques de sa production (semis, entretiens, récolte) ou dans sa consommation en tant que céréale alimentaire de base dans ces sociétés. Ainsi, il est observé comme tradition dans certaines sociétés notamment les sociétés Djerma-Songhaï et Haoussa du Niger, que le jeune marié prélève 1 à 2 voire 3 sacs de mil pour donner à sa belle famille pendant les congés de maternité de sa femme afin de la soutenir dans l'entretien de celle-ci. Il est également observé un phénomène de « gavage » avec divers mets à base de grain mil chez les jeunes femmes après les récoltes dans le but d'avoir le meilleur embonpoint avant le retour de leurs maris partis en « exode » dans les pays côtiers. En effet, il est considéré dans la mémoire collective de ces sociétés, des vertus de vigueur, de fortification et d'apports nutritionnels inégaux liés à la consommation du mil à l'endroit de cette catégorie de femme (comm.person.). Par ailleurs, il est rapporté de Juhe-Beaulaton (2002), des observances typiquement divinatoires stipulant des interdits formels et l'observation de certains rituels préalables à la consommation du mil après les récoltes chez certains peuples du sud du Bénin (Plateau d'Abomey). Ainsi, la levée de l'interdit et le lancement à en consommer relevaient de la permission expresse et exclusive du roi dans ces sociétés (Juhe-Beaulaton, 2002). En effet, des enquêtes ethnobotaniques dans la région d'Abomey révélèrent le rôle fondamental du mil dont la récolte annuelle rythmait le calendrier



agricole et religieux (Juhe-Beaulaton, 2002). Bien que le mil ne soit plus cultivé aujourd'hui dans le sud du pays ou marginalement sur le plateau d'Abomey, il continue à désigner le mois des semailles, lidosun (mil. Planter. Lune),

avril, et celui des récoltes, liyasun (mil. Récolte. Lune), août, alors que c'est le maïs qui est cultivé. Il n'y a pas eu de "substitution" linguistique pour les noms des lunaisons (Juhe-Beaulaton, 2002).

## 8 POINTS DES TRAVAUX SUR LES ORGANES DU MIL

La démarche adoptée a consisté à répertorier dans un tableau tous les documents se rapportant aux organes du mil qui ont été collectés lors de la fouille bibliographique. L'objectif visé à travers cet exercice est de parvenir à une catégorisation des différents objectifs de production du mil de par le monde en vue d'une estimation de sa proportion fourragère à travers la production scientifique disponible.

**8.1 Analyse quantitative des productions scientifiques sur les organes du mil:** Au terme de nos investigations, nous avons répertorié 224 références de documents publiés

sur le mil (tableau 4). Les documents sont ainsi identifiés sur la base d'une classification qui prend en compte les travaux sur 7 organes ou groupes d'organes du mil : feuilles et grain ; feuilles et racines ; feuilles et tiges ; feuilles, tiges et grain ; plante entière, grain et racines. L'analyse du tableau 4 fait ressortir que les documents relatifs au grain du mil sont les plus représentés avec 135 références sur 224 références relevées soit 60%, alors que les références sur les tiges et les feuilles représentant les organes fourragers du mil cumulent un total de 44 documents soit 20% du total.

**Tableau 4 :** Nombre de références suivant l'organe du mil étudié et la zone d'étude

Organes du mil étudiés	Références (n=224)		Pays d'étude (n=62)		Nombre de continents d'étude
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage	
Feuilles et grain	3	1%	3	5%	3
Feuilles et racines	6	3%	4	6%	3
Feuilles et tiges	44	20%	11	18%	4
Feuilles, tiges et grain	12	5%	8	13%	4
Plante entière	21	9%	9	15%	3
Grain	135	60%	24	39%	4
Racines	3	1%	3	5%	3

On peut également retenir de cette analyse que la plupart des pays ayant mené des travaux sur le mil l'ont fait essentiellement sur 4 types d'organes : le grain (39%), les feuilles-tiges (18%), la plante entière (15%) et le groupe feuilles-tiges-grain (13%) (tableau 4). Par ailleurs, la représentativité sur les continents est dominée par 3 groupes d'organes du mil à savoir feuilles-tiges, feuilles-tiges-grain et grain occupant chacun 4 continents. De l'analyse des documents répertoriés, on peut aussi noter

qu'en matière de travaux sur le mil, l'Afrique est le continent le plus représenté avec 71 références sur 224 (31,7%) alors que l'Océanie et l'Amérique du sud sont les continents les moins représentés avec respectivement 1 référence (0,4%) et 4 références (1,8%) (tableau 5). On peut constater enfin, que l'Amérique du Nord et l'Asie occupent respectivement la 2ème et la 3ème place avec 58 références (25,9%) et 50 références (22,3%) sur le total des références relevées.



Tableau 5 : Pourcentage des références selon le continent d'étude

Continents d'étude	Nombre de références	Pourcentage sur le total des références (n=244)
Afrique	71	31,7%
Amérique du Nord	58	25,9%
Amérique du sud	4	1,8%
Asie	50	22,3%
Europe	30	13,4%
Océanie	1	0,4%
Non défini et divers	10	4,5%

## 8.2 Analyse qualitative des productions scientifiques collectées sur les organes du mil

**8.2.1 Feuilles et grain :** Il s'agit des travaux qui combinent des tests de résistance du mil à certaines maladies foliaires et l'accumulation de l'amidon dans le processus de la formation des grains (Yadav *et al.*, 2004). Les feuilles et grain impliquent également des aspects liés à la tolérance de la sécheresse chez le mil et le rendement en grain par la cartographie des gènes qui y sont impliqués (Morgan *et al.*, 1998).

**8.2.2 Feuilles et racines :** Les documents sur les feuilles et racines font généralement appel à des études faisant intervenir les mécanismes physiologiques par lesquels le mil arrive à s'adapter dans des conditions environnementales difficiles. Il s'agit en réalité des travaux qui sont le plus menées dans les zones arides et semi-arides tels que la Tunisie, l'Inde ou le Niger (Amadou *et al.*, 1996; Radhouane, 2013; Kumar et Chopra, 2014). Ces travaux ont traité pour la plupart des cas des essais d'adaptation aux contraintes hydriques (sécheresse ou salinité). Il est ainsi, observé qu'en Inde et en Tunisie, la production du mil se fait sous irrigation (Govindaraj *et al.*, 2010; Radhouane, 2009) alors qu'au Niger, la production du mil se fait exclusivement sous pluie quand bien même l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et certaines entreprises semencières locales commencent à produire de plus en plus des semences de mil en saison sèche sous irrigation.

**8.2.3 Feuilles et tiges:** Les feuilles et les tiges constituent les organes fourragers du mil

et ont fait objet de beaucoup de travaux principalement en Amérique du Nord représentant 66% (29 références sur 44 références recensées pour les feuilles et tiges) de la production de mil fourrager dans le monde. Il s'agit notamment des États-Unis et du Canada où le mil est cultivé essentiellement pour son fourrage (Bishnoi *et al.*, 1993; Amodu *et al.*, 2001; 2007; Kanani *et al.*, 2014; Sheahan, 2014). Ainsi, il est aussi observé une multitude de techniques dans l'usage de la paille du mil avant sa fourniture aux animaux d'élevage. On peut ainsi noter son usage comme biocarburant par l'extraction de l'éthanol et la valorisation du résidu pressé comme fourrage (Bouchard, 2010; Clément, 2010; Leblanc, 2010; Bernades, 2012; Thivierge, 2014), l'ensilage, le foin et par hachage (Amodu *et al.*, 2005; Bernades *et al.*, 2011), des tests sur l'amélioration des performances laitières des animaux (Messman *et al.*, 1992; Tauqir *et al.*, 2008) et bien beaucoup d'autres travaux sur la digestibilité de la paille du mil (Hassanat *et al.*, 2004; Kanani *et al.*, 2014). Par contre, la production du mil à but fourrager est très faible voire insignifiante en Asie et en Afrique (16 à 14% du total des références sur les feuilles et tiges).

**8.2.4 Feuilles, tiges et grain:** Les travaux relatifs à cette thématique font surtout état du caractère multifonctionnel du mil dans certaines sociétés comme en Afrique et en Asie où le mil est cultivé aussi bien pour son grain que pour son fourrage. C'est qu'après la récolte des épis de mil, les tiges et les feuilles constituant la paille sont utilisées pour d'autres fins dont entre autre, l'alimentation animale, la construction des



maisons ou comme fertilisant lorsque les chaumes sont laissées sur place dans les champs (Yadav *et al.*, 2002; Loumerem, 2008; Maiti et Rodriguez, 2010; Blümmel *et al.*, 2013; Gouro et Ly, 2014;). La production scientifique relative à cette thématique est d'ailleurs faible avec seulement 5% du total des références relevées.

**8.2.5 Grain :** La production scientifique par rapport au grain du mil est la plus importante de la collecte documentaire effectuée sur les organes du mil (60% du total des références). La production grain du mil constitue ainsi de loin l'objectif principal pour lequel le mil est cultivé de par le monde. En effet, il constitue la source alimentaire des millions de personnes en Asie et en Afrique (Taylor *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2009; Abdalla, 2015; Békoye et Dadié, 2015; Boudries, 2017). Néanmoins, certains auteurs notamment d'Amérique du Nord et de l'Inde (Hill et Hanna, 1990; Davis *et al.*, 2003; (Baurhoo *et al.*, 2011; Kirubakaran *et al.*, 2011) voient au grain du mil une bonne alternative aux sorgho et au maïs dans l'alimentation animale. Par rapport à notre base de données sur les productions scientifiques, l'essentiel des travaux sont réalisés en Afrique et en Asie avec un taux de 58% sur le total des références relevées sur les grains du mil. Ainsi, la production scientifiques sur le grain du mil porte essentiellement sur l'amélioration du rendement et la sélection variétale (Bashir *et al.*, 2014), la composition chimique du grain et ses facteurs antioxydant comme bienfaits pour la santé (Velu *et al.*, 2007; Nambiar *et al.*, 2011; Chandrasekara et Shahidi, 2012; Saleh *et al.*, 2013), la transformation alimentaire du grain (Amadou *et al.*, 2011; Abdallah, 2013).

**8.2.6 Plante entière et racines :** Ces deux thématiques réunies constituent le 3ème centre d'intérêt abordé par les travaux de recherche sur le mil en se référant à notre base de

données (plus de 20% du total). Il s'agit des productions scientifiques sur le mil qui incluent des aspects botaniques (Manning, 2010; Blench, 2012; Clotault *et al.*, 2012), de la diversité agromorphologique et génétiques (Zangre *et al.*, 2009; Sumathi *et al.*, 2010; Mariac *et al.*, 2011; Akanvou *et al.*, 2012). D'autres aspects du mil ont été aussi relativement documentés, notamment : la conservation de la diversité des ressources génétiques (Ouendéba et Siaka, 2004), les variétés résistantes à la sécheresse (Winkel et Do, 1992), la découverte du gène PHYC encodant l'adaptation au changement climatique (Saïdou *et al.*, 2009, 2011), la stérilité mâle cytoplasmique, l'utilisation de gènes de nanisme et de l'apomixie pour fixer la vigueur hybride (Tostain et Marchais, 1993). On peut retenir aisément de cet exercice que les travaux sur le grain du mil sont de loin les plus importants aussi bien en nombre de publications qu'en nombre de pays concernés par ces études. Cela implique que le mil est cultivé presque exclusivement pour son grain et accessoirement pour d'autres fins. Cependant, la proportion de 20% sur le total des références (relevées) occupée par les organes fourragers du mil (à savoir les feuilles et tiges), constituant de ce fait la 2ème catégorie de documents collectés sur le mil, peut ainsi, laisser présager de l'émergence d'une nouvelle dynamique dans l'exploitation du mil dans le monde. Il s'agit de la production du mil à des fins fourragères, bien que le mil soit, encore considéré comme une céréale exclusivement alimentaire. Cette nouvelle donne par laquelle les ressources agricoles autrefois vivrières passent désormais pour des usages fourragers est appréciée par certains analystes comme un mécanisme d'adaptations aux changements climatiques.

## **9 STRATÉGIES PAYSANNES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU SAHEL**

Les mécanismes d'adaptation aux aléas climatiques en jeu sont basés sur la complémentarité entre spéculations et entre espaces utilisés au sein des exploitations et/ou

des communautés (Amoukou, 2009). Dans ces conditions, les paysans tentent-ils de s'adapter par tous les moyens à leur portée. Ils recherchent les variétés plus précoces pour



confronter la baisse de pluviométrie, et privilégier des cultures plus rustiques (Woodfine, 2009). L'utilisation des moyens de production est raisonnée pour tenir compte des risques (Dugué, 2012). Chez les éleveurs, le changement est évident dans la structure des troupeaux, dans les calendriers fourragers basés sur la mobilité des troupeaux (transhumance), le déstockage par vente ou répartition entre parents et amis afin de minimiser les risques de perte en cas de sécheresse (Dugué, 2012). Les politiques agricoles récentes semblent favoriser la sédentarisation des agropasteurs (Amoukou, 2009). Dès lors, ces derniers recourent bien souvent à la quête d'emplois locaux, ou partent d'emblée en exode. Le cas alarmant est bien celui des peulh Bororo (au Niger) ayant perdu l'essentiel de leur cheptel du fait des sécheresses récurrentes induits par les changements

climatiques, fuyant les campagnes pour s'investir dans le petit commerce (vente de téléphones cellulaires) dans les centres urbains. Dans ce contexte, l'État nigérien recourut à une politique conséquente de déstockage animale pour contrer ces périodes de sécheresse, par le biais des ONGs spécialisées afin de venir en aide aux populations sinistrées (de Sardan *et al.*, 2013; Oumarou, 2013). Dans ce contexte alarmant d'irrégularité des précipitations, de l'amenuisement sans cesse accru de l'espace pastoral dû à la pression démographique et l'accroissement des cheptels, les ressources fourragères alternatives sont devenues préoccupantes (Mbaye *et al.*, 2002; Gouro et Ly, 2014). Comment accroître le disponible fourrager et assurer un bon niveau de développement de l'activité d'élevage au Niger tel qu'évoqué par bien de travaux antérieurs ?

## 10 CONCLUSION

En zone sahélienne, du fait de la pression sur les ressources pastorales, l'alimentation des animaux d'élevage est devenue de plus en plus préoccupantes ces dernières décennies. La recherche et le développement de ressources fourragères complémentaires à partir des espèces locales apparaît comme une des solutions alternatives envisageables dans ce contexte. Dans la panoplie des espèces végétales cultivées en zone arides et semi-aride, le mil se trouve être la plante la plus populaire. Le mil est d'ailleurs passé pour la culture

vivrière conditionnant la sécurité alimentaire dans certains pays du sahel comme le Niger, mais aussi comme une excellente plante fourragère dans les zones aux conditions climatiques difficiles des États-Unis, de l'Australie et du Canada. C'est à ce titre que le choix du mil en tant que ressource fourragère en réponse au déficit fourrager devenu structurel pourrait apparaître comme une approche intéressante dans la résolution de l'insécurité alimentaire du cheptel sahélien.

## 11 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO-Niger) avec l'appui financier duquel les travaux de cette thèse de doctorat (Ph.D) ont été initiés

## 12 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdalla, AA: 2015. Evaluation of biochemical and nutritional profile during processing of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) to different products, UOFK. [www.khartoumspace.uofk.edu/handle/123456789/10371?show=full](http://www.khartoumspace.uofk.edu/handle/123456789/10371?show=full)
- Abdallah, M: 2013. Determinants for local pearl millet consumption in Singida rural and Kishapu districts, Sokoine University of Agriculture. [www.suaire.suanet.ac.tz:8080/.../MWASITI%20ABDALLAH.pdf](http://www.suaire.suanet.ac.tz:8080/.../MWASITI%20ABDALLAH.pdf)
- Adeola, O, and Orban, J I: 1994. Chemical composition and nutrient digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) fed to growing pigs. *J Cereal Science* 22, 177-184.



- Akanvou, L, Akanvou, R, Kouakou, C K, N'da, H A, and Koffi, K G C: 2012. Evaluation de la diversité agro morphologique des accessions de mil [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] collectées en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 50, 3468-3477.
- Amadou, I, Amza, T, Shi, Y-H, and Le, G-W: 2011. Chemical analysis and antioxidant properties of foxtail millet bran extracts. *Sonklanakar Journal of Science and Technology* 33, 509.
- Amadou, I, Gounga, M E, and Le, G-W: 2013. Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing - A Review. *Emir. J. Food Agric.* 25, 501-508.
- Amadou M, Cellier P, Monteny, B, et Lhomme, J-P 1996 Estimation de l'évapotranspiration d'une culture de mil à l'aide d'un modèle de couvert épars. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_6/colloques2/010008350.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/010008350.pdf)
- Amblard-Pison, S: 1996. Greniers néolithiques sur pilotis du Sahara méridional (Dhars Tichitt et Oualata, Mauritanie). *L'Anthropologie* 100, 356-365.
- Amodu J, Adeyinka I, Kallah M and Awa J: 2007. Evaluation of pearl millet accession for yield and nutrient composition. *Journal of Biological Sciences*, 7, 379-383.
- Amodu J, Kallah M, Onifade O, Omokanye A and Adeyinka, I: 2001. The effect of harvesting at different growth stages on yield and quality of three late-maturing pearl millet accessions in northern Nigeria. *Tropical Grasslands*, 35(3), 175-179.
- Amoukou A: 2009. Un village nigérien face au changement climatique: stratégies d'adaptation au changement climatique dans une zone rurale du bassin du Niger. *GTZ, ABN, Niamey nouvelle. Niger.*
- Amoukou I: 1993. Barrières à la reproduction entre mils pénicillaires sauvages et cultivés (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.). PhD, École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Andrews D J and Kumar K A: 1992. Pearl millet for food, feed, and forage. *Advances in Agronomy* 48, 89-139.
- Andrews DJ, Rajewski, JF and Kumar K A: 1993. Pearl millet, New feed grain crop. In "News crops. Wiley, New York. J. Janick and J.E. Simon (éds)," pp. 198-208.
- Banks S and Stewart, T 2003 Forage pearl millet. Ontario Ministry of Agriculture.
- Bashir EMA, Ali AM, Ali AM, Ismail MI, Parzies HK and Hausmann BIG: 2014. Patterns of pearl millet genotype-by-environment interaction for yield performance and grain iron (Fe) and zinc (Zn) concentrations in Sudan. *Field Crops Research* 166, 82-91.
- Baurhoo N, Baurhoo B and Zhao X: 2011. Effects of exogenous enzymes in corn-based and Canadian pearl millet-based diets with reduced soybean meal on growth performance, intestinal nutrient digestibility, villus development, and selected microbial populations in broiler chickens. *Journal of animal science* 89, 4100-4108.
- Békoye BM and Dadié A: 2015. Evaluation des Pertes en Grains de Mil dues aux Insectes. *European Scientific Journal* 11.
- Bélaïr G, Dauphinais N, Fournier Y, Dangi OP and Clément MF: 2005. Effect of forage and grain pearl millet on *Pratylenchus penetrans* and potato yields in Quebec. *J. Nematol.* 37, 78-82.
- Béninga M: 2011. Caractérisation chimique et minérale des grains de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] de Côte d'Ivoire. In "Int. J. Biol. Chem. Sci. ", Vol. 5, pp. 2039-2044.
- Béninga MB: 1993. Bilan des travaux d'amélioration variétale en Cote d'Ivoire. Le mil en Afrique 'diversité génétique et agro-physiologie: potentialités et contraintes pour



- l'amélioration génétique et l'agriculture' ORSTOM Editions, Paris, France., 21-32.
- Bernardes ADP: 2012. Rendement en biomasse et en sucres et valeur nutritive du millet perlé sucré et du sorgho sucré en fonction de la date de récolte et du délai entre le hachage et le pressage du fourrage (Doctoral dissertation, Université Laval). [www.theses.ulaval.ca/2012/29074/29074.pdf](http://www.theses.ulaval.ca/2012/29074/29074.pdf)
- Bezançon G, Renno JF and Anand Kumar K: 1997. Le mil. In "L'amélioration des plantes tropicales." (M. J. André Charrier, S.Hamon et D. Nicolas, ed.), pp. 457-482. CIRAD et ORSTOM.
- Bishnoi UR, Oka GM and Fearon AL: 1993. Quantity and quality of forage and silage of pearl millet in comparison to sudax, grain, and forage sorghums harvested at different growth stages. *Tropical Agriculture* 70, 98-102.
- Blench R: 2006. "Archaeology, language, and the African past," Rowman Altamira.
- Blench RM: 2012. The contribution of vernacular names for pearl millet to its early history in Africa and Asia. Submitted to: *Archaeological and Anthropological Science*.
- Blümmel M, Tui SH-K, Valbuena D, Duncan AJ and Herrero M: 2013. Biomass in crop-livestock systems in the context of the livestock revolution. *Science et changements planétaires/Sécheresse* 24, 330-339.
- Bouchard A, Vanasse A, Seguin P and Bélanger G: 2011. Yield and composition of sweet pearl millet as affected by row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal* 103, 995-1001.
- Boudries N: 2017. Caractérisation des amidons de sorgho et de mil perlé cultivés dans le Sahara algérien, Université de Liège, Liège, Belgique. Consulté le 25 mai 2017 [orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/.../1/Dissertation.%20Boudries%20Nadia.%202017.pdf](http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/.../1/Dissertation.%20Boudries%20Nadia.%202017.pdf)
- Brunken JN: 1977. A systematic study of Pennisetum sect. Pennisetum (gramineae). *American journal of botany* 64 2, 161-176.
- Buxton DR and O'Kiely P: 2003. Preharvest plant factors affecting ensiling. D. R. Buxton, R. E. Muck, and J. H. Harrison, eds. *Silage science and technology*. ASA, Inc., Madison, WI., 199-250.
- Chaïbou M, Naroua C and Dov: P 2012. Evaluation de la biomasse et de la composition chimique de cinq variétés de mil cultivées au Niger. *Annales de l'Université Abdou Moumouni Tome XIII-A*, 42-53.
- Chandrasekara A and Shahidi F: 2012. Bioaccessibility and antioxidant potential of millet grain phenolics as affected by simulated in vitro digestion and microbial fermentation. *Journal of Functional Foods* 4, 226-237.
- Cherney DJR, Patterson JA and Johnson K D: 1990. Digestibility and feeding value of pearl millet as influenced by the brown-midrib, low-lignin trait. *J. Anim. Sci.* 68, 4345-4351.
- Clotault J, Thuillet A-C, Buiron M, De Mita S, Couderc M, Haussmann BI, Mariac C and Vigouroux Y: 2012. Evolutionary history of pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) and selection on flowering genes since its domestication. *Molecular biology and evolution* 29, 1199-1212.
- D'Andrea AC, Klee M and Casey J: 2001. Archaeobotanical evidence for pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in sub-Saharan West Africa. *Antiquity* 75, 341-348.
- Davis A, Dale N and Ferreira F: 2003. Pearl millet as an alternative feed ingredient in broiler diets. *The Journal of Applied Poultry Research* 12, 137-144.
- Dendy AVD: 1995. Sorghum and the millets: production and importance. In "Sorghum and millets chemistry and technology. American association of cereal chemists, Inc. St Paul, Minnesota,



- USA. David A V Dendy (éds). " (D. A. V. Dendy, ed.), pp. 11-26. American association of cereal chemists, Inc. St Paul, Minnesota, USA, Minnesota, USA.
- de Sardan J-PO, Adamou H and Oumarou I: 2013. "Les transferts monétaires au Niger: la manne et les soupçons," LASDEL, Niamey. [www.lasdel.net /.../166-n-108-les-transferts-mone-taires-au-niger-la-manne-et-les-soup](http://www.lasdel.net/.../166-n-108-les-transferts-mone-taires-au-niger-la-manne-et-les-soup).
- Drapeau R, Tremblay GF, Bélanger G and Michaud R: 2002. Récoltes tardives du maïs fourrager en régions à faibles unités thermiques. *Canadian Journal of Plant Science* 82, 319-327.
- Dugué M-J: 2012. Caractérisation des Stratégies D'adaptation au Changement Climatique en Agriculture Paysanne. Etude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF, 50.
- Fall ST, Elhadji T, Kéba N, NDèye SN and Mohammed BS: 1997. Utilisation des fruits de *Faidherbia albida* pour l'alimentation des bovins d'embouche paysanne dans le bassin arachidier au Sénégal. *Livestock Research for Rural Development* 9, 5-17.
- FAO: 2000 Production yearbook. Food and Agricultural Organization, Rome. Alimentation et agriculture. Production et santé animales par J.W. Czerkawski, J.D. Dargie, L. E. Edqvist, M.C.N. Jayasuriya. FAO.
- FAOSTAT: 2016. FAO.doc\_23\_déc\_2016\_12h12.doc. [www.fao.org/faostat/fr/](http://www.fao.org/faostat/fr/)
- Fribourg H A: 1995. Summer annual grasses in R. Barnes, C. J. Nelson, M. Collins, and K. Moore, eds. Forages an Introduction to Grassland Agriculture. Iowa State Press:Ames, Iowa. 1, 463-472.
- Gouro AS et Ly C: 2014. "Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest : Etat des lieux et perspectives pour l'élevage." Bureau Régional pour l'Afrique de la FAO ACCRA, Organisation des Nations unies pour l'Agriculture et l'Alimentation Rome. [www.academia.edu/.../Résidus\\_agricoles\\_et\\_sous-produits\\_agro-industriels\\_en\\_Afrique...](http://www.academia.edu/.../Résidus_agricoles_et_sous-produits_agro-industriels_en_Afrique...)
- Govindaraj M, Selvi B, Rajarathinam S and Sumathi: P 2011. Genetic variability and heritability of grain yield components and grain mineral concentration in india's pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) accessions. *African journal for food, agriculture nutrition and development (AFJAND)* 11, 14.
- Govindaraj M, Shanmugasundaram P, Sumathi P and Muthiah A: 2010. Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet. *Electronic journal of plant breeding* 1, 590-599.
- Gray, A, Hawkins, S, Romman, L, et McMurphy, W 2000 Pearl millet. F-2090. Extension facts. Oklahoma Coop. Ext. Serv., Oklahoma State Univ., Stillwater.
- Grema, A K 2002 Productivity of pearl millet-cowpea intercrops in North East Nigeria. (C. U. Institute of water and environment, ed.). <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/iwe/students/gre-ma.htm>
- Han KJ, Collins M, Newman MC and Dougherty C T: 2006. Effects of forage length and bale chamber pressure on pearl millet silage. *Crop Sci.* 46, 337-344.
- Hanane S: 2013. Le pouvoir antioxydant des polyphénols de l'espèce *Pennisetum glaucum* (millet) du sud de l'Algérie, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.
- Hanna W and Gupta SK: 1999. Breeding for forage. I. S. Khairwal, K. N. Rai, D. J. Andrews, G. Harinarayana, eds. Pearl millet breeding, Science Publishers, Enfield, NH, 303-316.
- Hassanat F, Mustafa AF and Seguin P: 2006. Chemical composition and ensiling characteristics of normal and brown midrib pearl millet harvested at two stages of development in southwestern



- Québec. Canadian Journal of Animal Science 86, 71-80.
- Hassanat F, Mustafa AF and Seguin P: 2007a. Effects of inoculation on ensiling characteristics, chemical composition and aerobic stability of regular and brown midrib millet silages. *Animal Feed Science and Technology* 139, 125-140.
- Hassanat F, Mustafa AF and Seguin P: 2007b. Effect of the Brown-midrib trait and stage of development at harvest on cell wall composition and degradability of forage pearl millet leaves and stems. *Canadian Journal of Animal Science* 87, 421-429.
- Hiernaux P, Diawara M and Gangneron F: 2014. Quelle accessibilité aux ressources pastorales du Sahel? *Afrique contemporaine*, 21-35.
- Hill G and Hanna W: 1990. Nutritive characteristics of pearl millet grain in beef cattle diets. *Journal of animal science* 68, 2061-2066.
- Hill GM, Utley PR, Gates RN, Hanna WW and Johnson JC Jr: 1999. Pearl millet silage for growing beef heifers and steers. *J. Prod. Agric.*, 653-658.
- Höhn A, Kahlheber S, Neumann K and Schweizer A: 2008. Settling the rain forest: the environment of farming communities in southern Cameroon during the first millennium BC. *Dynamics of Forest Ecosystems in Central Africa during the Holocene: Past-Present-Future*, 29-41. <http://www.wholehealthmd.com/refshelf/Foods/view/1,72,00.html>.
- Hulse J H, Laing EM and Pearson OE: 1980. "Sorghum and the millets: their composition and nutritive value," Academic Press.
- Irén Léder: 2004. Sorghum and Millets, in *Cultivated Plants, Primarily as Food Sources*, [Ed. György Füleký]. In "Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)". UNESCO, Oxford, U.K.
- JAICAF: 2009. "Les céréales au Niger ; accent sur le mil et le sorgho," Association pour la Collaboration Internationale en matière d'Agriculture et des Forêts du Japon (JAICAF). [www.docplayer.fr/30099948-Les-cereales-au-niger.html](http://www.docplayer.fr/30099948-Les-cereales-au-niger.html)
- Jaster EH, Fisher CM and Miller DA: 1985. Nutritive value of oatlage, barley/pea, pea, oat/pea, pearl millet, and sorghum as silage ground under double cropping forage system for dairy heifers. *J. Dairy Sci* 68, 2914-2921.
- Jayaraman K: 2002. Natural 'golden millet' rivals 'golden rice'. *Science and Development Network (SciDevNet)*.
- Juhe-Beaulaton D: 2002. Alimentation des hommes, des vodoun et des ancêtres. In "Une histoire de céréales dans le golfe de Guinée" (Karthala, ed.), pp. 53-66. M. CHASTANET, F.X. FAUVELLE-AYMAR et D, Paris.
- Kahlheber S, Bostoen K and Neumann K: 2009. Early plant cultivation in the Central African rain forest: first millennium BC pearl millet from South Cameroon. *Journal of African Archaeology*, 253-272.
- Kanani J, Philip D, Coffey KP, Young P AN, Rhein R and Caldwell JD: 2014. Nutritive value and in situ digestibility of pearl millet hay as affected by moisture concentration and bale sampling depth. [www.professionalanimalscientist.org/article/S1080...8/fulltext](http://www.professionalanimalscientist.org/article/S1080...8/fulltext)
- Karimou M et Atikou A: 1998. Les systèmes agriculture-élevage au Niger. In "Improving Crop-Livestock Systems in the Dry Savannas of West and Central Africa" (G. T. a. P. Hiernaux, ed.), pp. 78-97. IITA, Ibadan, Nigeria.
- Kiema A, Nianogo AJ, Somda J and Ouédraogo T: 2008. Valorisation de *Cassia obtusifolia* L. dans l'embouche en région sahéenne du Burkina Faso. *Tropicicultura* 26, 98-103.
- Kirubakaran A, Narahari D, Ezhil Valavan T and Sathish Kumar A: 2011. Effects of



- flaxseed, sardines, pearl millet, and holy basil leaves on production traits of layers and fatty acid composition of egg yolks. *Poultry science* 90, 147-156.
- Kumar AK: 1989. "Pearl millet : current status and future potential."
- Kumar, K. A. a. A., D. J. 1993. Genetics of qualitative traits in pearl millet: a review. *Crop Sci.* 33:1–20. (1993). Genetics of qualitative traits in pearl millet: a review. *Crop Sci.* 33, 1–20.
- Kumar V and Chopra A: 2014. Pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) response after ferti-Irrigation with sugar mill effluent in two seasons. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 3, 1-13.
- Lam TBT, Iiyama K and Stone B A 1996 Lignin and hydroxycinnamic acids in walls of brown midrib mutants of sorghum, pearl millet and maize stems. *J. Sci. Food Agric.* 71, 174-178.
- Leblanc V, Vanasse A, Seguin P and Bélanger G 2012 Sugar yield and forage nutritive value of sweet pearl millet as influenced by fertilization and harvest dates. *Agronomy Journal* 104, 542-549.
- Lee RD, Hanna WW, Buntin GD, Dozier W, Timper P and Wilson JP: 2009. Pearl millet for grain. [www.extension.uga.edu/publications/files/pdf/B%201216\\_3.PDF](http://www.extension.uga.edu/publications/files/pdf/B%201216_3.PDF)
- Loumrem M: 2004. Etude de la variabilité des populations de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) cultivées dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes. PhD, Université de Gent, Faculté d'agronomie de Gent.
- Maiti R and Rodríguez HG: 2010. Pearl millet: potential alternative for grain and forage for livestock in semi-arid regions of Mexico. *Int J Bio-Res Stress Manage* 1, 45-47.
- Maiti RK and Bidinger FR: 1981. Growth and Development of the Pearl Millet Plant. In "Research Bulletin", Vol. 6, pp. 14. ICRISAT, India.
- Mangat BK, Maiti RK and Khairwal IS: 1999. Pearl millet biology. In "Khairwal I.S., Rai K.N., Andrews D.J. et G.I. Harinarayana. (Eds.) Pearl millet breeding" (O. I. P. C. P. LTD, ed.), pp. 1-27, New Delhi.
- Mani UV, Prabhu BM, Damle SS and Mani I: 1993. Glycemic Index of some commonly consumed foods in Western India. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 2, 111-114.
- Manning K: 2010. A developmental history for early West African agriculture. In "West African Archaeology New developments, new perspectives Edited by Philip Allsworth-Jones", Vol. 2164 pp. 12. BAR International.
- Manning K, Pelling R, Higham T, Schwenniger J-L and Fuller DQ: 2011. 4500-year old domesticated pearl millet (*Pennisetum glaucum*) from the Tilemsi Valley, Mali: new insights into an alternative cereal domestication pathway. *Journal of Archaeological Science* 38, 312-322.
- Marchais L, Tostain S and Amoukou I: 1993. Signification taxonomique et évolutive de la structure génétique des mil s pénicillaires. In "Le mil en Afrique, " (S. Hamon, ed.), pp. 119-1 28. ORSTOM, Paris, France.
- Mariac C, Jehin L, Saïdou AA, Thuillet, AC, Couderc M, Sire P, Jugdé H, Adam H, Bezançon G and Pham JL: 2011. Genetic basis of pearl millet adaptation along an environmental gradient investigated by a combination of genome scan and association mapping. *Molecular ecology* 20, 80-91.
- Mbaye N, Diop AT, Guèye M, Diallo AT, Sall CE and Samb PI: 2002. Etude du comportement germinatif et essais de levée de l'inhibition tégumentaire des graines de *Zornia glochidiata* Reichb. ex DC., légumineuse fourragère. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 55, 47-52.
- Messman MA, Weiss WP, Henderlong PR and Shockey WL: 1992. Evaluation of pearl millet and field peas plus triticale silages



- for midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75, 2769-2775.
- Michaud R, Pépin MC, Dangi OP and Sritharan R: 2002. "Annual report-Sorghum, pearl millet and chickpea." Agriculture Environmental Renewal Canada Inc. (AERC Inc.), Delhi, Ontario, p.156-161. 41
- Morgan R, Wilson J, Hanna W and Ozias-Akins P: 1998. Molecular markers for rust and pyricularia leaf spot disease resistance in pearl millet. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 96, 413-420.
- Moumouni KH, Kountche BA, Jean M, Hash CT, Vigouroux Y, Haussmann, BIG and Belzile F: 2015. Construction of a genetic map for pearl millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., using a genotyping-by-sequencing (GBS) approach. *Mol Breeding* 35, 10.
- Mustafa AF, Hassanat F and Seguin P: 2004. Chemical composition and in situ ruminal nutrient degradability of normal and brown midrib forage pearl millet grown in southwestern Québec. *Canadian Journal of Animal Science* 84, 737-740.
- Nambiar VS, Dhaduk J, Sareen N, Shahu T and Desai R: 2011a. Potential functional implications of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in health and disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 1, 62.
- Nambiar VS, Dhaduk JJ, Sareen N, Shahu T and Desai R: 2011b. Potential Functional Implications of Pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Health and Disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 1, 62-67.
- Neumann K: 1999. Early plant food production in the West African Sahel. In "The exploitation of plant resources in ancient Africa", pp. 73-80. Springer.
- Sheahan CM: 2014. Plant guide for pearl millet (*Pennisetum glaucum*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center, Cape May, NJ. Published 08/2014
- NIN: 2003. Nutritive value of Indian Foods, Ed Gopalan and Deosthale. (N. I. o. Nutrition, ed.). NIN, Hyderabad. [www.trove.nla.gov.au/work/17516887](http://www.trove.nla.gov.au/work/17516887)
- Okpara DA and Omaliko CPE: 1995. Forage millet response to irrigation and nitrogen fertilization in the derived savanna zone of Nigeria. *Ghana Jnl agric. Sci.* 28-29, 37-43.
- Oumarou I: 2013. "Les transferts monétaires dans la Commune de Roumbou (Dakoro)," LASDEL. [www.lasdel.net/.../Les\\_transferts\\_monetaires\\_dans\\_la\\_Commune\\_de\\_Roumbou.pdf](http://www.lasdel.net/.../Les_transferts_monetaires_dans_la_Commune_de_Roumbou.pdf)
- Ouendéba B et Siaka SB: 2004. Le mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] au Niger : généralités et résultats de la sélection. In "Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest : Diversité, conservation et valorisation" (IRD, ed.), Montpellier
- Pamo ET, Tendonkeng F, Kana JR, Loyem PK, Tchappa E et Fotie FK: 2004. Effet de différents niveaux de supplémentation avec *Leucaena leucocephala* sur la croissance pondérale de la chèvre Naine de Guinée. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 57, 107-112.
- Pucher A, Høgh-Jensen H, Gondah J, Hash CT and Haussmann BIG: 2014. Micronutrient Density and Stability in West African Pearl Millet-Potential for Biofortification. *crop science* 54, 709–1720.
- Radhouane L: 2013. Agronomic and physiological responses of pearl millet ecotype (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to saline irrigation. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 25, 109.
- Radhouane L: 2009. La photosynthèse du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) en présence de contrainte hydrique et saline. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)* 103, 185-200.



- Radhouane L: 2013. The Evolutionary History of Pennisetum Glaucum. Nyame akuma, 115-123.
- Ramulu P and Rao PU: 2003. Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 16, 677-685.
- Rooney L and McDonough C: 1987. Food quality and consumer acceptance of pearl millet. In "International Pearl Millet Workshop, Patancheru, AP (India), 7-11 Apr 1986". ICRISAT.
- Saïdou A-A, Mariac C, Luong V, Pham J-L, Bezançon G and Vigouroux Y: 2009. Association studies identify natural variation at PHYC linked to flowering time and morphological variation in pearl millet. *Genetics* 182, 899-910.
- 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 SupAgro.
- Saleh AS, Zhang Q, Chen J and Shen Q: 2013. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 281-295.
- Sedivec K and Schatz B: 1991. Pearl millet: forage production in North Dakota. NDSU Extension Service [publication]-North Dakota State University (USA).
- Sharma A and Kapoor AC: 1996. Levels of antinutritional factors in pearl millet as affected by processing treatments and various types of fermentation. *Plant foods human nutrition* 49, 241-52.
- Soumana I, Ayssiwede S, Issa S, et Missohou A: 2016 Effets de la complémentation avec des blocs multi-nutritionnels concentrés à base de *Sida cordifolia* L., une plante invasive, sur les performances zootechnico-économiques des antenais de race Balami à Déréki/Dosso (Niger). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 15, 716.
- 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](http://www.hubrural.org/IMG/pdf/mil-sorgho-niger.pdf)
- Sumathi P, Madineni S and Veerabadhiran P: 2010. Genetic variability for different biometrical traits in pearl millet genotypes (*Pennisetum glaucum* LR BR.). *Electronic journal of plant breeding* 1, 437-440.
- Tauqir N, Nisa M, Sarwar M and Bhatti S: 2008. Impact of varying moisture levels, different additives and fermentation periods on nutritive value of leguminous and non-leguminous fodder silages in lactating nili-ravi buffaloes. *Pak. J. AgnSc* 45, 2.
- Taylor JR, Schober TJ and Bean SR: 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* 44, 252-271.
- Thivierge M-N: 2014. Le millet perlé sucré et le sorgho sucré comme cultures énergétiques en conditions québécoises: Potentiel de production, utilisation de l'azote, morphologie des racines et apport de carbone au sol, Université Laval. <http://www.theses.ulaval.ca/2014/31397/31397.pdf>
- Thorstensson EMG, Buxton D and Cherney D J: 1992. Apparent inhibition to digestion by lignin in normal and brown midrib stems. *J. Sci. Food Agric.* 59, 183-188.
- Tielsch JM and Sommer A: 1984. The epidemiology of vitamin A deficiency and xerophthalmia. *Annual review of nutrition* 4, 183-205.
- Tostain S and 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 "Serge Hamon (éds). Le mil en Afrique 'diversité génétique et agrophysiologie: potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture" (ORSTOM, ed.), pp. 33-56. Serge Hamon, Paris, France.
- Tremblay GF, Lefebvre D, Petit H and Lafrenière C: 2005a. La valeur nutritive des fourrages. In "Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec", pp. 189. G. Bélanger, L. Couture et G. Tremblay, Québec.
- Vall E, Andrieu N, Dugué P, Richard D, Tou Z and Diallo MA: 2008. Évolutions des pratiques agropastorales et changements climatiques en zone soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest: proposition d'un modèle conceptuel de l'interaction climat-écosystèmes de production agropastoraux. <http://catalogue-bibliotheques.cirad.fr/cgi-bin/koha/opacetail.pl?biblionumber=199528>
- Velu G, Rai K, Muralidharan V, Kulkarni V, Longvah T and Raveendran T 2007. Prospects of breeding biofortified pearl millet with high grain iron and zinc content. *Plant Breeding* 126, 182-185.
- Vietmeyer N D: 1996. "Lost crops of Africa," National academy press Washington, D.C, Grains, Washington, D.C.
- Ward JD, Redfearn, DD, McVormic, ME and Cuomo GJ 2001. Chemical composition, ensiling characteristics, and apparent digestibility of summer annual forages in subtropical-cropping system with annual ryegrass. *J. Dairy Sci.* 84, 177-182.
- Winkel T and Do F: 1992. Caractères morphologiques et physiologiques de résistance du mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., à la sécheresse. *Agronomie tropicale* 46, 339-351.
- Woodfine A: 2009. The potential of sustainable land management practices for climate change mitigation and adaptation in sub-Saharan Africa. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.*
- Yadav OP: 1996. Plant breeding abstracts. Pearl millet breeding, achievements and challenges 2.
- Yadav R, Hash C, Bidinger F, Devos K and Howarth C: 2004. Genomic regions associated with grain yield and aspects of post-flowering drought tolerance in pearl millet across stress environments and tester background. *Euphytica* 136, 265-277.
- Zangre R, Sawadogo M, Ouedraogo M and Balma D: 2009. Caractérisation et stratification d'une collection de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3.