



## Étude de la variabilité agromorphologique de la collection nationale de mils locaux du Sénégal

Ousmane SY<sup>1,2</sup>; Amadou FOFANA<sup>1,2</sup>; Ndiaga CISSE<sup>1,4</sup>; Kandjioura NOBA<sup>5,7</sup>; Diaga DIOUF<sup>5,7</sup>; Ibrahima NDOYE<sup>5,7</sup>; Djibril SANE<sup>5,7</sup>; Aboubacry KANE<sup>5,7</sup>; Ndjido Ardo KANE<sup>1,3,7,\*</sup>; Tom HASH<sup>8,9</sup>; Bettina HAUSSMAN<sup>11</sup> et Eva ELWEGAN<sup>8,10</sup>

<sup>1</sup> Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (BP 3120, Route des hydrocarbures, Dakar. Téléphone : +221 33 859 17 20)

<sup>2</sup> Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (BP 53 CNRA, Tel : +221 33 973 63 48 ; Bambey)

<sup>3</sup> Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales (BP 2057 Dakar Hann, Sénégal, Tel: (221) 832 08 21/ 56 15 .

<sup>4</sup> Centre d'Études Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (Isra-Ceraas/Coraf , BP 3320 Thiès Escalé Thiès (Sénégal), Tél : (+221) 951 49 93/94, Fax : (+221) 951 49 95,

<sup>5</sup> Université Cheikh Anta Diop Faculté des Sciences et Techniques (BP 5005, Dakar Sénégal, Tél : +221 338248187,

<sup>6</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD BP 2057 Dakar Hann, Sénégal, Tel: (221) 832 08 21/ 56 15, UMR Diversité Adaptation et Développement des plantes (Professeur Diégane DIOUF, (UCAD, Faculté des Sciences et Techniques (BP 5005, Dakar Sénégal. Tél : +221 338248187, Fax : +221 338246318,

<sup>7</sup> Laboratoire mixte international Adaptation des Plantes et microorganismes associés aux Stress Environnementaux (IRD/ISRA de Bel air (Dakar, Sénégal). Tel: (221) 832 08 21/ 56 15)

<sup>8</sup> International Crops Research Institute for the Semi-Aride Tropiques (Patancheru 502324 , Telangana, India. Tel: +91 40 30713071, Fax: +91 40 30713074,

<sup>9</sup> Centre Sahélien, NIGER (ICRISAT-Niger. BP 12404 Niamey, Niger. Tel : +227 20 722529,

<sup>10</sup> Centre Ouest Africain, MALI (ICRISAT-Mali BP 320, Bamako, Mali Tel : +223 20 70 92 00. Fax : +223 20 70 92 01.

<sup>11</sup> Université de Hohenheim (Allemagne) (Schloss Hohenheim 1, 70599 Stuttgart, Allemagne, Tel: +49 711 4590,

### Email addresses:

Ousmane SY ([oussousyso@yahoo.fr](mailto:oussousyso@yahoo.fr)); Amadou FOFANA ([afofana46@yahoo.fr](mailto:afofana46@yahoo.fr)); Ndiaga CISSE ([ncisse@refer.sn](mailto:ncisse@refer.sn)); Kandjioura NOBA ([kandjioura.noba@ucad.edu.sn](mailto:kandjioura.noba@ucad.edu.sn)); Diaga DIOUF ([ndiaga.diouf@ucad.edu.sn](mailto:ndiaga.diouf@ucad.edu.sn)); Ibrahima NDOYE ([ibrahima.ndoye@ird.fr](mailto:ibrahima.ndoye@ird.fr)); Djibril SANE ([djisane@refer.sn](mailto:djisane@refer.sn)); Aboubacry KANE ([aboubakane@yahoo.fr](mailto:aboubakane@yahoo.fr)); Tom HASH ([c.hash@icrisatne.ne](mailto:c.hash@icrisatne.ne)); Bettina HAUSSMANN ([B.G.I.hausmann@web.de](mailto:B.G.I.hausmann@web.de)) et Eva ELWEGAN ([e.weltzien@icrisatml.org](mailto:e.weltzien@icrisatml.org))

### Abréviations:

CV, coefficient de variation; GXE, génotype par environnement; ppds ou LSD, plus petite différence significative; h<sup>2</sup>, héritabilité; NPL, Nombre de poquets levés; VAL, Vigueur à la levée; FLO, Délai semis-floraison; HTR; Hauteur des plantes; LEP, Longueur des épis; DM, Nombre de poquets attaqués par le mildiou; NPR, Nombre de poquets récoltés; NER, Nombre d'épis récoltés; CIR, Circonférence des épis; HI; Indice de récolte; RdtBat, Rendement au battage; PDG/Epi, Poids de grains par épi; PDG, Poids de grains par parcelle; PDE; Poids des épis par parcelle; PMS, Poids de matière sèche par parcelle, P1000, Poids de 1000 grains; HI (%), Indice de récolte; PV, Poids volumique; LNRPV, Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales; CERAAS, Centre National de Recherches sur l'Amélioration et l'Adaptation à la Sécheresse, ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles; CNRA, Centre National de Recherches Agronomiques.

Original submitted in on 15<sup>th</sup> December 2014. Published online at [www.m.elewa.org](http://www.m.elewa.org) on 31<sup>st</sup> March 2015  
<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v87i1.1>

## RESUME

*Objectif* : Le mil est la première culture vivrière au Sénégal. Il joue un rôle capital dans la vie des populations rurales qui en dépendent pour leur survie (STAT/FAO/SENEGAL, 2010). Il est cultivé sur plus 60% des terres arables. Les variétés locales étaient les plus utilisées mais depuis quelques années leur survie est menacée par l'introduction des variétés améliorées.

*Methodology et application des résultats* : Pour éviter l'érosion génétique, des missions de collecte ont été organisées en 1994 et 2006 dans les principales zones de culture du mil. Le matériel collecté est caractérisé pour faciliter leur utilisation dans les programmes de création variétale. L'objectif du présent travail est caractériser le germoplasme national mil du Sénégal pour les rendre utilisables par les sélectionneurs pour la création de nouvelles variétés hautement productives pour l'augmentation de la production céréalière et l'atteinte de la sécurité alimentaire. Pour caractériser les accessions, 12 variables sélectionnées à partir du Descripteur du mil IPGRI/ICRISAT, 1993 ont été utilisées. Un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec 3 répétitions a été choisi et les sites d'essais étaient Bambey, Niore et Darou pendant les hivernages 2011 et 2012. Les analyses descriptives ou qualitatives ; statistiques simples (ANOVA) ; de la diversité (phénologique ; génétique avec la méthode de la classification ascendante (CAH), avec les composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle discriminante (AFD)) ont été réalisées avec les logiciels Genstat Discovery4 et R. Les analyses descriptives ont montré l'existence d'une grande variabilité entre les accessions pour les caractères qualitatifs comme l'architecture de l'épi et la couleur des grains. Les analyses statistiques simples (ANOVA) ont montré qu'il existe une différence hautement significative entre les entrées et les sites. Cependant, les interactions étaient non significatives à l'exception de la floraison, de l'indice de récolte et des rendements en grains et en matière sèche. Les analyses de la diversité phénologique a permis de classer les variétés en trois groupes selon le cycle végétatif (G1 des variétés extra-précoces, G2 des cycles courts et G3 des cycles longs). La classification ascendante hiérarchique (CAH) suivant la méthode de Ward a permis d'identifier la valeur des axes et les compositions des 3 groupes y découlant (le groupe G1 compte 106 accessions, le G2 compte 129 accessions et le G3 compte 8 accessions) et de tracer le dendrogramme de filiations. L'analyse de la diversité génétique par les composantes principales (ACP) a permis de déterminer la position des accessions par rapport aux axes expliquant les variabilités inter-accessions. L'analyse de la diversité génétique par la méthode factorielle discriminante a permis de déterminer la structuration de la diversité agromorphologique et la représentation graphique des accessions suivant un plan factoriel. Les groupes ainsi formés seront convertis en des entités hétérotiques constituées de pools de gènes différents où les sélectionneurs et autres scientifiques vont puiser pour créer des variétés hautement productives et résistantes aux stress bio et abiotiques afin de nourrir les populations et de lutter contre la faim et la malnutrition.

## ABSTRACT

*Objective*: Pearl millet is the first cereal crop in Senegal. It plays an important role on rural population live who depend on it as a main stable food crop (STAT/FAO/SENEGAL, 2010). It is cultivated in more than 60% of the arable area. The local varieties or landraces were more cultivated but since some years their survival is threatened by the introduction of improved varieties.

*Methodology and results*: To avoid genetic drift, collecting missions were organized in 1994 and 2006 through the main pearl millet cultivation area. The collected material is characterized to facilitate their utilization in breeding programs. The aim of this article is to characterise the national pearl millet germoplasme to make it available for breeding for the creation of new highly productive varieties to raise cereal productivity and to achieve food security in Senegal. To characterize the accessions, 12 variables selected from the pearl millet descriptor (IBPGR/ICRISAT, 1993) were used. The experimental design was a bloc randomized design with 3 replications and sites were Bambey, Niore and Darou during 2011 and 2012 raining seasons. The descriptive or qualitative, simple statistics (ANOVA), phenological diversity, genetic diversity by the ascendant hierarchical classification (CAH), with the principal components (ACP) and the factorial discriminate (AFD) analysis were done with the

software Genstat Discovery 4 and R. The descriptive analysis showed an important variation between accessions for the qualitative characters like head architecture and grain colour. The simple analysis (ANOVA) showed the existence of a highly significant difference between entrees and sites. However, the interactions (GXE) were non-significant for all variables except for flowering, harvesting index, grains ET dry matter yields. The phenological diversity analysis has permitted to classify the accessions into 3 groups accordingly to vegetative cycle (the extra-early varieties, the short cycle and the long cycle). The hierarchical ascendant classification (CAH) from the Ward method permitted to identify the value of the axes and the composition of the 3 groups coming from them (group G1 with 106 accessions, G2 with 129 accessions and G3 with 8 accessions) and to draw the dendrogram of filiations. The genetic diversity analysis by the principal components (ACP) permitted to determinate the position of the accessions according to the main axes explaining the variation between accessions. The genetic diversity analysis by the factorial discriminator (AFD) method permitted the determination of the structuring of the agromorphological diversity and the graphic representation of the accessions according to the factorial plan.

*Conclusion and application of results:* The created groups will be converted into heterotic entities constituted by different gene pools where breeders and other scientists can draw genetic material to create highly productive varieties resistant to bio and abiotic stress to feed population and to avoid hunger and malnutrition.

## INTRODUCTION

Le petit mil, mil pennicillaire ou mil à chandelles (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. est une graminée de la tribu des Panicoidées. Il est une plante de la zone tropicale sèche (soudano- sahélienne) très cultivée en Afrique et en Inde. La théorie actuelle situe son origine en Afrique de l'Ouest (Clotault J. *et al.*, 2012). La durée du cycle végétatif permet de classer les variétés en trois grands groupes : Les « souna » hâtifs de 75 à 95 jours, les « sanio » semi-tardifs de 110 à 130 jours et les variétés tardives photopériodiques de 130 à 200 jours. Il est une des cultures les plus tolérantes à la sécheresse parmi les espèces céréalières utilisées comme nourriture humaine dans le monde. Il est cultivé annuellement sur plus de 30 millions d'hectares dans les zones arides et semi-arides des régions tropicales d'Afrique et d'Asie (Voir figure 1). Comme le blé, le mil est spécifiquement adapté à croître dans les sols les plus marginaux, les plus secs, et les moins fertiles des environnements de culture des autres céréales comme le sorgho, le maïs ou le riz (Bidinguer *et al.* 1987). La culture du mil est plus adaptée dans les sols à texture légère et à régime pluviométrique annuel faible (400 à 750mm (Harinarayan *et al.* 1999). Les principaux cultivars utilisés sont des variétés locales et traditionnelles mais avec l'introduction par la recherche des variétés améliorées et hybrides à haut potentiel de rendement, les traditionnelles ou landraces deviennent de moins en moins utilisées et leur survie est menacée malgré leur importance

biologique (Brown, Munday, 1982 ; Ahmadi *et al.*, 1988). Cependant, il faut noter que les variétés traditionnelles gardent toute leur importance dans les exploitations agricoles car ce sont elles que les paysans connaissent mieux, qu'ils ont l'habitude de pratiquer, savent les cuisiner pour en faire des plats et des mets de divers ordres. Sur le plan agroclimatique, les variétés locales ou traditionnelles sont rustiques, adaptées au climat, au sol et résistantes aux stress bio et abiotiques, par conséquent, leur conservation in situ et/ou ex-situ devient une impérative si l'on veut éviter de les perdre et de réduire ainsi la biodiversité (Frankel *et al.*, 1995). Pour ce qui est du mil, en sa qualité de plante annuelle, la conservation des accessions se fait ex-situ avec conservation des semences dans des chambres froides et des banques de gènes. Seulement pour leur utilisation le matériel collecté depuis les parcelles paysannes est semé en stations pour la caractérisation agromorphologique. Celle-ci consiste à la mesure et à l'analyse des variables sélectionnées en vue d'avoir les caractéristiques et les performances de chacune des entrées. La comparaison des individus va permettre d'éliminer les redondances et les similitudes en vue de la constitution d'un core collection. Dans la core collection, chaque groupe de variétés est représenté par un individu possédant les principales caractéristiques discriminantes du groupe. Le présent article livre les résultats du travail de caractérisation

effectué sur la collection nationale de mils locaux du Sénégal conservée au Centre National de recherches

Agronomiques (CNRA) de Bambey.

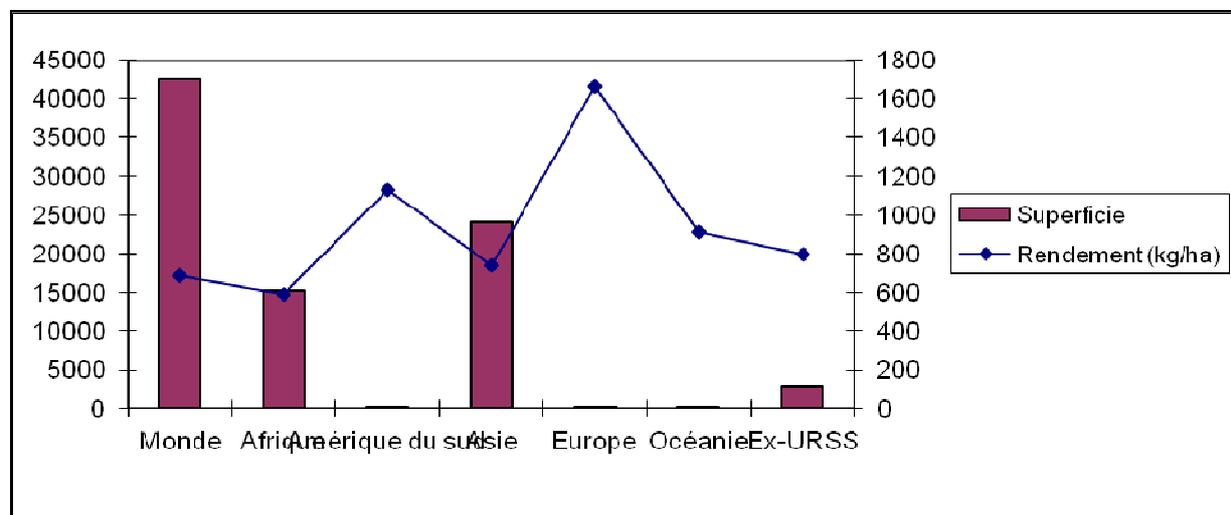


Figure 1 : Évolution des superficies et du rendement du mil à travers le monde

### OBJECTIF GENERAL

L'objectif général de ce travail est de caractériser les cultivars locaux collectés et conservés au CNRA de Bambey pour les rendre utilisables par la communauté scientifique pour la création de variétés améliorées hautement productives capables de booster la production céréalière, réduire le déficit vivrier et d'éradiquer la pauvreté et la misère dans le monde rural.

### MATERIEL ET METHODES

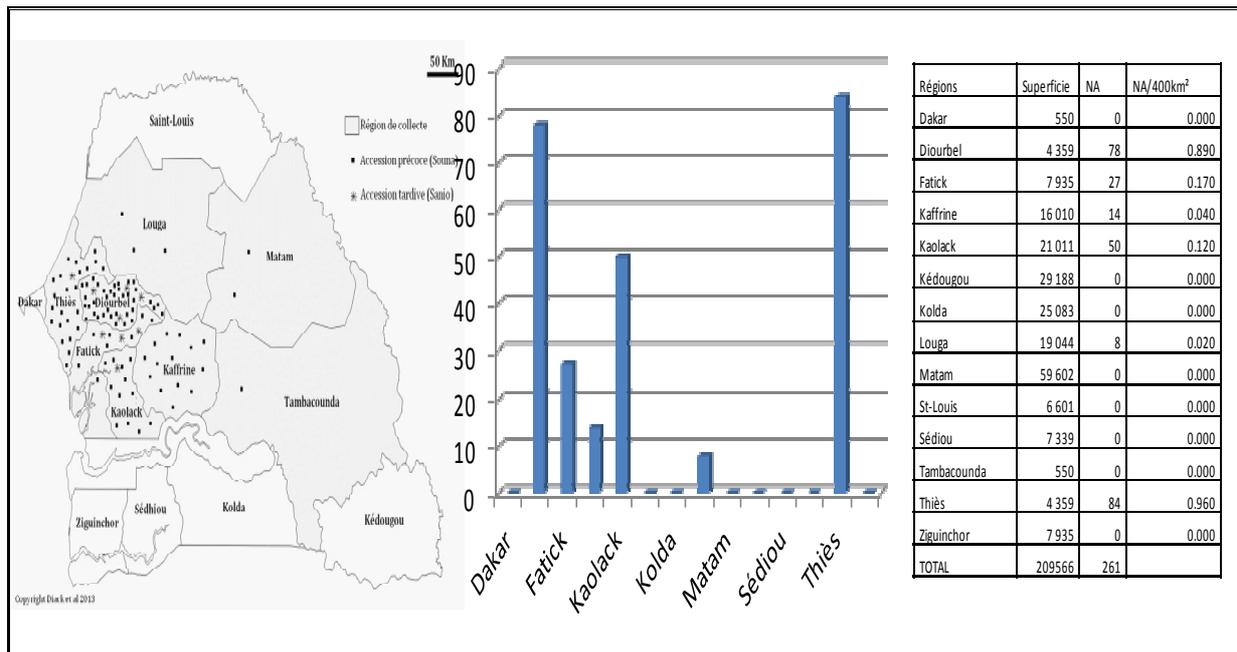
**Matériel végétal et méthode de collecte :** Le matériel végétal utilisé était composé de 336 accessions collectées à travers les zones milicoles du Sénégal dont 243 accessions étaient encore viables au moment de la caractérisation. La méthode d'échantillonnage utilisé pendant la collecte consistait à prendre un échantillon de la variété la plus cultivée en épis ou en grains par village. L'échantillon pouvait provenir du champ, du grenier, du magasin ou du marché si toutes les autres opportunités étaient impossibles. La règle était de prendre un échantillon par village avec un pas de 20km entre village avec quelques exceptions. Si le village était grand ou composé de plusieurs ethnies, on pouvait collecter plusieurs échantillons par contre par contre si la mission traverse une zone désertique ou non cultivée en mil, aucun échantillon n'était collecté. Certaines régions ont

**Objectif spécifique :** L'objectif spécifique de ce présent travail est d'évaluer les performances et les caractéristiques des différentes accessions de mil de la collection nationale et pouvoir les utiliser dans les programmes de création variétale du Sénégal et d'ailleurs.

été plus couvertes que d'autres (Voir figure 1 avec carte, graphique et tableau).

**Dispositif expérimental :** Le dispositif expérimental utilisé était en Blocs Complets Randomisés avec 3 répétitions. Chaque parcelle élémentaire était composée de 2 lignes de 6.30m. Les écartements entre lignes et entre poquets étaient de 90cm. Ainsi, les effectifs par parcelle complète étaient de 16 poquets soient 8 poquets par ligne.

**Les sites d'installation des essais :** L'essai a été installé dans les 3 principales stations de l'ISRA du Bassin Arachidier Sénégalais (BAS). Il s'agit de la station de Bambey (16° 28 Ouest ; 14° 42 Nord, altitude 20m); Darou (15° 47 ; 13°44, altitude 18m) et Nioro (15°50 ; 13° 56 altitude 23m) pendant les hivernages 2011 et 2012.



**Figure 1 :** Représentation graphique des points de collecte, de l'évolution des échantillons collectés et du taux de recouvrement par région.

**La conduite de la culture :** La fertilisation était faite selon les recommandations de la recherche à savoir 150kg/ha de NPK (15-10-10) comme engrais de fonds et deux tranches d'urée de 50kg/ha chacune comme engrais de couvertures appliquées au démarrage et à la montaison. La préparation du terrain a consisté en un labour profond (15cm) suivi d'un hersage après épandage engrais de fonds dans tous les sites et pendant toutes les années. Le semis a toujours eu lieu après une pluie utile d'au moins 15mm. Les attaques d'insectes ont été contrôlées par des traitements avec les pesticides Décis ou Spidane à raison de 100ml par pulvérisateur de 15 litres. Cependant, il n'y a jamais eu d'apport d'eau par irrigation dans les parcelles même si certaines poches de sécheresse assez longues ont été observées ici et là. Contrairement à Niore et à Darou où les essais ont été binés à 3 reprises pour excès d'enherbement, à Bambey, les essais ont été binés à deux reprises. Le démarrage a été fait à 2 plants par poquet et les poquets non levés ont été soit ressemés, soit repiqués pour garder un effectif complet de 16 poquets par parcelle. Le ressemis est utilisé quand il reste des graines et dans le cas contraire on pratique le repiquage ou la transplantation.

**Les variables étudiées et les méthodes de mesure :** Les méthodes utilisées pour la caractérisation agrophysiologique sont basées sur la description agromorphologique de Anon *et al.*, 1986 permettant de faire ressortir les différences dans les caractères

phénologiques, phénotypiques et de rendement. Il s'agit de :

- (1) NPL (Nombre de plantes levées),
- (2) VAL (Vigueur à la levée),
- (3) DM (Nombre de plantes attaquées par le mildiou),
- (4) FLO (Délai semis-50% floraison femelle des plantes),
- (5) HTR (Hauteur moyenne des plantes (Sur 3 plantes prises au hasard)),
- (6) LEP (Longueur moyenne des épis (Sur les 3 plantes prises au hasard)),
- (7) CIR (Circonférence des épis (Sur 3 plantes prises au hasard)),
- (8) EXR (Longueur de l'exsertion (Sur 3 plantes prises au hasard)),
- (9) NPR (Nombre de plantes récoltées par parcelle),
- (10) TALLp (Nombre de talles productives par poquet),
- (11) NER (Nombre d'épis récoltés par parcelle),
- (12) PDE (g/m<sup>2</sup>) (Poids des épis récoltés par mètre carré),
- (13) PDG (g/m<sup>2</sup>) (Poids des grains obtenus par mètre carré),
- (14) PMS (g/m<sup>2</sup>) (Poids de matières sèches produites par mètre carré),
- (15) P1000 (Poids de 1000 grains),
- (16) PV (Poids volumique des grains par parcelle), auxquelles on a ajouté par calcul
- (17) (% DM), l'incidence mildiou
- (18) le HI (%) (Indice de récolte), le
- (19) Rdt/Bat (%) (Rendement au battage),



(g/m<sup>2</sup>) et du poids de matière sèche (PMS (g/m<sup>2</sup>)). Par rapport l'héritabilité, elle dans l'ensemble élevée pour

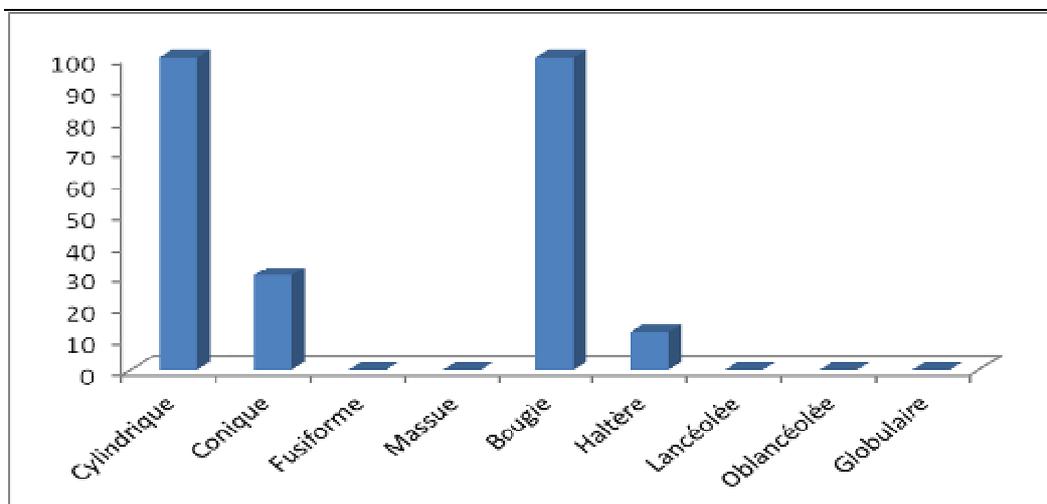
toutes les variables à l'exception du poids de grains par épis (Pds/Epi) (Voir tableau 2).

**Tableau 2 :** Synthèse des résultats multiloceaux de l'essai caractérisation, hiv. 2010-2012

Statistiques	FLO	HTR	LEP	NER	TALLp	Pds1Epi	RdtBat (%)	HI (%)	PDG/1 Epi	NG/1Epi	PDG (g/m <sup>2</sup> )	PMS (g/m <sup>2</sup> )
Min	53	215	37.9	25	2.61	29	32.00	4.00	12	2376	39	301
Max	72	327	65.5	87	7.40	103	91.00	35.00	70	12356	173	1562
Moyenne	57	260	51.9	49	4.30	48	64.00	25.00	31	5241	124	532
Médiane	56	258	51.4	48	4.24	48	65.00	26.00	30	5123	126	521
Moy-Mne	1	2	0.5	1	0.06	0	-1.00	-1.00	0	118	-1	11
% différence	2	1	0.9	2	1.51	1	-1.60	-2.05	1	2	-1	2
Variétés	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS
Sites	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS
Interaction (GXE)	HS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	S	HS
LSD (5%)	7	43	13.9	27	2.50	35	19.00	0.12	25	4512	68	224
CV (%)	6	8	13.7	28	29.50	37	15.09	23.76	41	43	28	22
h <sup>2</sup>	0.38	0.51	0.59	0.53	0.44	0.29	0.43	0.42	0.41	0.39	0.57	0.59

**Les analyses de la diversité phénologique :** Parmi les paramètres qualitatifs les plus discriminants, on trouve successivement (1) la forme de l'épi (longueur, architecture.), (2) la taille de la plante (hauteur, forme.) et (3) la couleur des grains.

**La forme des épis :** En étudiant les formes des épis de la collection nationale de mils locaux, on trouve une certaine diversité. La forme la plus dominante est le cylindrique, suivi de la forme bougie, du conique et un peu de haltère. Les autres étant complètement absentes (Voir figure 2).



**Figure 2 :** Fréquence du nombre des épis par catégorie de formes selon le Descripteur du mil, IPGRI/ICRISAT, 1993)

**Architecture de l'épi :** Les architectures des épis sont moins variables mais on trouve en gros 3 formes : type Thialack2 avec épis courbés, Souna 3 avec épis dressés,

type sanio de Séfa avec les aristations et type IBV 8004 avec bouts arrondis (Voir figure 3)



Figure 3 : Variabilité dans l'architecture de l'épi.

**La base de l'épi :** Les variétés locales et traditionnelles se reconnaissent par la base de l'épi qui est souvent enflée avec une sorte de barbe ou de malformation que les phytopathologistes attribuent à la maladie du mildiou

(*Sclerospora graminicola*). Cette malformation qui réduit fortement la quantité de grains de l'épi semble être bien appréciée par les paysans qui la considèrent comme un signe de responsabilité (Voir figure 4).



Figure 4: Base ou barbe de l'épi du mil (*Sclerospora graminicola*)

**Le sommet de l'épi :** Il est en général pointu et vide sur une certaine longueur avec les variétés traditionnelles. La longueur de ce bout pointu est variable selon les variétés. Les bouts pointus assez longs réduisent les rendements

en grains car plusieurs centimètres sur le rachis restent improductifs. Par contre, chez les variétés améliorées, le bout est souvent arrondi et rempli de grains jusqu'au sommet (Voir figure 5).

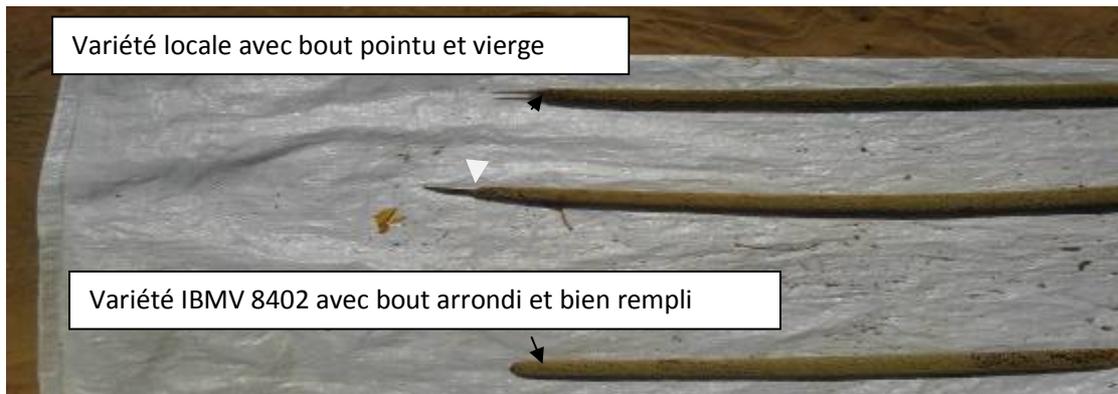


Figure 5: Bouts supérieurs pointus, vierges et arrondis des épis de mil :

**La couleur du grain :** Selon le descripteur de l'ICRISAT, il existe dix couleurs pour caractériser les grains de mil. Au Sénégal et dans la collection nationale de mils locaux, les

couleurs les plus fréquentes sont le gris, le jaunâtre, le jaune, le blanc, le marron et le rouge. Les variétés à grains rouges sont très peu représentées (Voir figure 6).

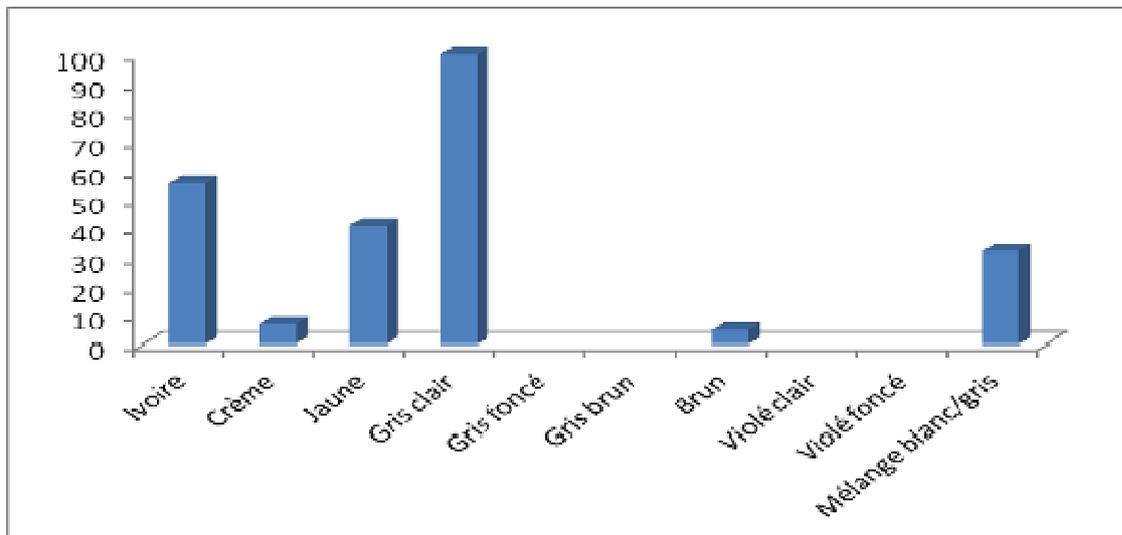


Figure 3 : Fréquence des couleurs des grains de la collection nationale de mils locaux.

**Les analyses de diversité génétique par la classification ascendante hiérarchique (CAH): Les résultats d'analyses:** L'analyse de la diversité génétique par la méthode de classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis la construction d'une matrice des poids factoriels qui est composée de 3 axes dont la rotation a abouti à la définition de 3 composantes ou axes fondamentaux. La première composante (G1) explique 98.96% de la variabilité totale et elle est définie à 99.99% par le caractère « Nombre de grains par épi » (Voir tableau . Elle regroupe les 106 accessions à bon rendement en grains donc à cycle extra-précoce et court et elle explique 35.09% de la variabilité totale. La seconde composante (G2) est définie par les accessions avec une

bonne production de biomasse, il compte 129 entrées. Elle exprime 25.64% de la variabilité totale. Elle se définit en termes de poids de matière sèche (PMS (g/m<sup>2</sup>) produit par accession. Il est lié aux variables expliquant la quantité de biomasse récoltée par accession à savoir le poids des tiges, le poids des épis et le poids de grains. Pour ce qui est de la troisième composante ou G3, elle est définie par les accessions à très faible production de grains mais avec une forte production de biomasse (Voir tableau 5). Elle compte 8 accessions dont des sanios et des sounas trop tardifs. Elle explique le reste de la variance totale soit 29.27% et est définie comme l'axe autour duquel tourne toutes les accessions ayant une importante production en matière sèche mais avec une faible production en grains

(Voir tableau 6). Il s'agit principalement des accessions (voir tableau 7).  
trop tardives qui n'ont pas pu boucler leur cycle (Voir

**Tableau 3 :** Évolution des variances liées aux axes et niveaux de signification des variables étudiées.

Composantes principales	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Variance propre	3.86	2.82	2.82
Variance totale	35.09	25.64	16.50
Variance cumulée	98.96	0.99	0.03
Délai 50% floraison femelle (FLO)	0.000	-0.013	0.071
Hauteur moyenne des plantes (HTR)	-0.001	-0.075	0.082
Longueur moyenne des plantes (LEP)	0.001	-0.006	0.029
Nombre des épis récoltés par parcelle (NER)	-0.001	-0.007	-0.259
Nombre de talles productives (TALLp)	0.000	-0.001	-0.013
Nombre de grains par épi (NG/Epi)	<b>0.999**</b>	-0.008	0.010
Poids de grains par épis (PDG/Epi)	0.005	0.003	-0.036
Poids de grains par mètre carré (PDG(g/m <sup>2</sup> ))	0.011	-0.005	<b>-0.945**</b>
Poids de grains par épi (Pds1Epi)	0.006	-0.001	0.029
Poids de matière sèche par mètre carré (PMS(g/m <sup>2</sup> ))	-0.008	<b>-0.997**</b>	-0.005
Rendement au battage (RDTBAT(%))	0.002	0.022	-0.157

**Tableau 4:** Composition des groupes et valeurs des paramètres explicatifs:

Classe	G1	G2	G3
Objets	106	129	8
Somme des poids	106	129	8
Variance intra-classe	366930,224	355434,752	2355257,984
Distance minimale au barycentre	26,145	22,916	144,824
Distance moyenne au barycentre	458,099	485,297	1070,760
Distance maximale au barycentre	1941,864	1560,598	3398,181

**Tableau 5 :** Répartition des accessions dans les 3 groupes de distribution selon la classification hiérarchique ascendante.

<b>G1=106</b>				<b>G2=129</b>					<b>G3=8</b>
SL 1	SL 100	PLS 157	PLS 211	SL 2	SL 65	SL 203	PLS 123	PLS 224	SL 14
SL 5	SL 110	PLS 160	PLS 213	SL 3	SL 70	SL 206	PLS 124	PLS 230	SL 37
SL 6	SL 112	PLS 161	PLS 219	SL 12	SL 72	SL 208	PLS 137	PLS 231	SL 79
SL 11	SL 119	PLS 163	PLS 222	SL 15	SL 75	SL 209	PLS 138	PLS 233	SL 212
SL 24	SL 131	PLS 166	PLS 223	SL 16	SL 77	SL 210	PLS 140	PLS 234	SL 214
SL 34	SL 150	PLS 167	PLS 226	SL 18	SL 80	PLS 10	PLS 147	PLS 306	PLS 170
SL 35	SL 200	PLS 169	PLS 227	SL 19	SL 81	PLS 13	PLS 151	PLS 307	PLS 302
SL 36	SL 215	PLS 174	PLS 228	SL 20	SL 83	PLS 17	PLS 158	PLS 309	PLS 318
SL 38	SL 217	PLS 176	PLS 232	SL 23	SL 84	PLS 22	PLS 159	PLS 311	
SL 40	SL 225	PLS 179	PLS 235	SL 25	SL 87	PLS 27	PLS 162	PLS 312	
SL 41	PLS 45	PLS 180	PLS 301	SL 26	SL 89	PLS 43	PLS 164	PLS 313	
SL 42	PLS 59	PLS 181	PLS 303	SL 28	SL 90	PLS 47	PLS 168	PLS 314	
SL 48	PLS 65	PLS 182	PLS 304	SL 29	SL 91	PLS 56	PLS 171	PLS 319	
SL 53	PLS 67	PLS 184	PLS 305	SL 30	SL 92	PLS 63	PLS 172	PLS 320	
SL 55	PLS 85	PLS 185	PLS 308	SL 31	SL 93	PLS 66	PLS 173	PLS 324	
SL 57	PLS 101	PLS 186	PLS 310	SL 32	SL 96	PLS 68	PLS 175	PLS 325	

SL 64	PLS 103	PLS 187	PLS 315	SL 33	SL 97	PLS 78	PLS 177	PLS 326
SL 69	PLS 104	PLS 188	PLS 316	SL 39	SL 99	PLS 95	PLS 178	PLS 328
SL 71	PLS 106	PLS 190	PLS 317	SL 44	SL 107	PLS 105	PLS 183	PLS 330
SL 73	PLS 109	PLS 192	PLS 321	SL 46	SL 115	PLS 108	PLS 189	PLS 331
SL 74	PLS 113	PLS 193	PLS 322	SL 49	SL 118	PLS 111	PLS 191	SOUNAA 3
SL 76	PLS 125	PLS 195	PLS 323	SL 50	SL 120	PLS 114	PLS 194	
SL 82	PLS 126	PLS 196	PLS 327	SL 52	SL 127	PLS 116	PLS 204	
SL 86	PLS 129	PLS 197	PLS 329	SL 54	SL 128	PLS 117	PLS 205	
SL 88	PLS 153	PLS 198	PLS 301	SL 61	SL 130	PLS 118	PLS 216	
SL 94	PLS 154	PLS 199		SL 62	SL 201	PLS 121	PLS 220	
SL 98	PLS 155	PLS 207		SL 63	SL 202	PLS 122	PLS 221	

**La représentation graphique:** La représentation graphique obtenue par la méthode de la classification hiérarchique ascendante (CHA) a permis encore de réaliser avec la méthode d'agrégation de Ward un dendrogramme de relation phylogénétique. La représentation phylogénétique des accessions a été matérialisée autour des deux grandes branches phylogéniques B1 et B2 qui divisent les accessions en trois groupes (G1, G2 et G3). Ces groupes se distinguent à la distance de 60 selon les analyses multivariées de

variance avec une probabilité inférieure à 0.1%. L'examen de la matrice centrale des résultats montre que cette différence provient principalement de trois variables sur les 12 observées. Ces variables sont la FLO (floraison), le PDG/Epi (poids de grains par épi) et le PMS (poids de matière sèche). Les liaisons parentales ou phylogéniques tournent autour des ces 3 variables. Quand deux accessions sont apparentées, elles ont forcément le même cycle de semis-floraison, un nombre de grains par épi et un poids de matière sèche équivalents (Voir figure 5).

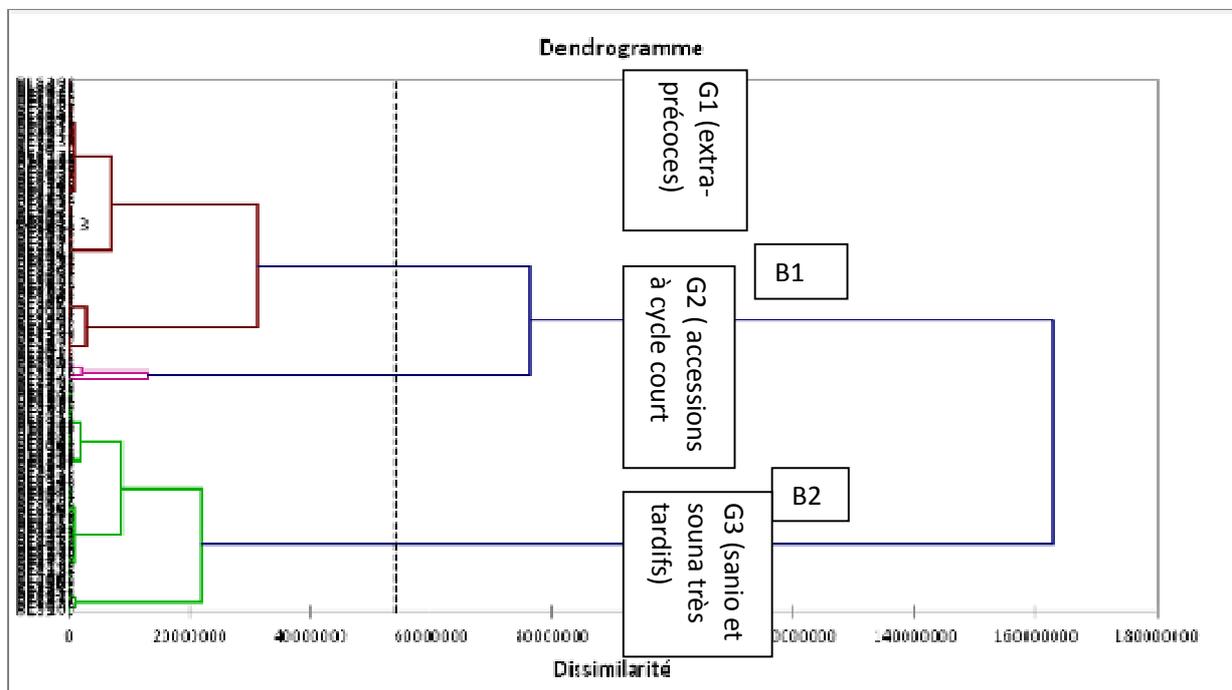


Figure 5 : Présentation phylogénétique des accessions de la collection nationale de mils locaux du Sénégal.

**Les analyses de diversité génétique par les composantes principales (ACP):**

**Les résultats d'analyses:** Avec l'analyse en composantes principales, on voit dans l'ordre progressif l'importance des variables étudiées sur la discrimination des accessions. La variable qui garde la plus importante valeur propre est le délai de floraison (F1=FLO) avec un apport de 4,37, il est suivi par la hauteur des plantes

(F2=HTR) avec une valeur propre de 3.09 et la variable à plus faible valeur propre est le nombre d'épis récoltés par parcelle (F12=TALLp) avec 0.01. En plus, on voit que la valeur propre des axes est inversement proportionnelle à leur valeur cumulée, seulement il faut noter que si les valeurs propres varient de 4.37 à 0.01, pour les valeurs cumulées la variation va de 36.45 à 100% (Voir tableau 6).

**Tableau 6 :** Classification des variables selon leur valeur propre et cumulée.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Valeur propre	4,37	3,09	1,82	0,85	0,53	0,38	0,34	0,26	0,16	0,11	0,07	0,01
Variabilité (%)	36,45	25,77	15,13	7,07	4,41	3,14	2,86	2,14	1,37	0,95	0,58	0,12
% cumulé	36,45	62,22	77,35	84,43	88,84	91,99	94,84	96,98	98,35	99,30	99,88	100,

**La représentation graphique :** Comme indiqué plus haut, la courbe représentative de la contribution des variables par leur valeur propre et leur variabilité cumulée montre un effet inverse, plus la variable a une valeur propre importante, plus sa variabilité cumulée est faible.

Cependant, on remarque que si la dernière variable F12 a une valeur propre de 0.01 et une variabilité cumulée de 100%, la première des variables F1 a 4.37 comme valeur propre avec une valeur cumulée non nulle (36.45%) (Voir figure 6).

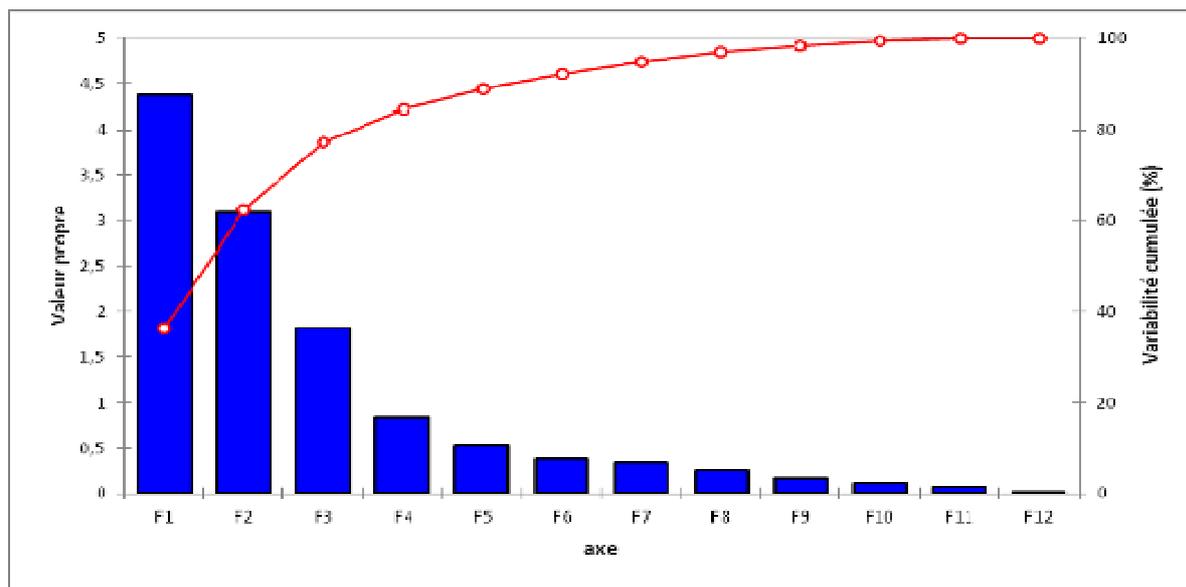


Figure 6 : Évolution de la valeur propre et de la variabilité cumulée des variables étudiées.

**La représentation par biplot :** En cherchant à extraire par l'analyse discriminante les variables initiales, un groupe de variables apportant suffisamment d'informations pour la discrimination entre les groupes a été constitué. Il s'agit d'un couple de descripteurs ou paramètres

suffisamment riches et variés pour décrire l'essentiel des variations entre accessions testées. La hiérarchie des variables du couple sont F1=FLO (Délai semis-floraison) et F2=HTR (Hauteur des plantes) (Voir figure 7).

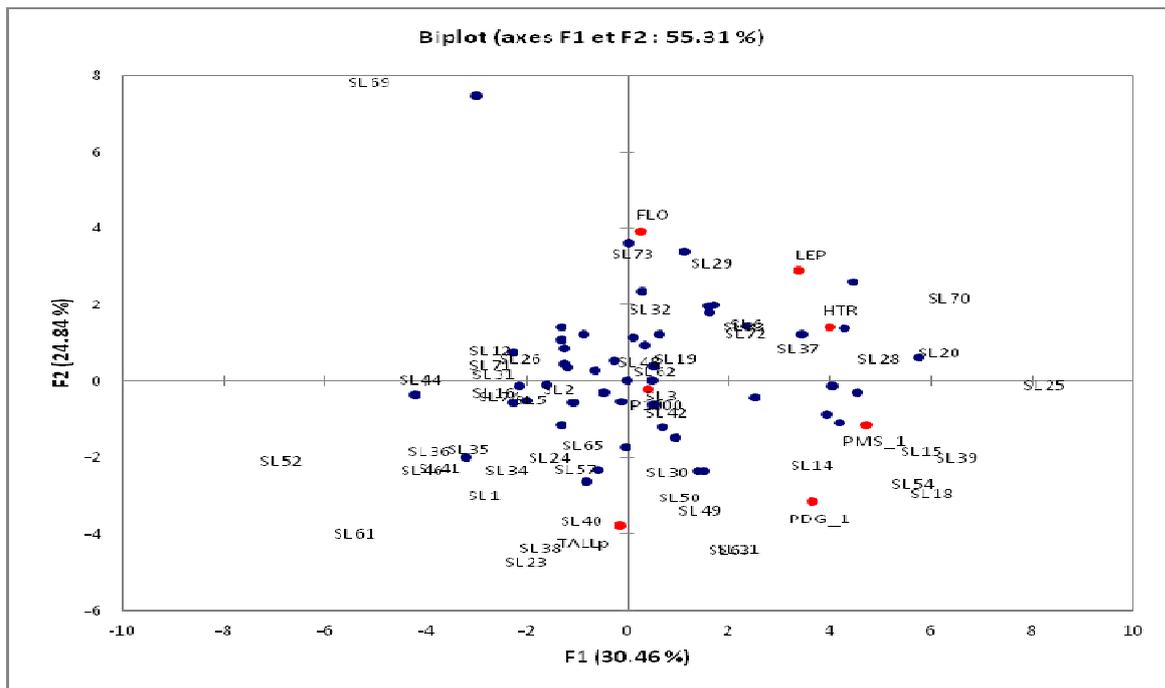


Figure 7 : Distribution des accessions autour des axes principaux définis par les variables étudiées.

**Les analyses de diversité génétique par la méthode factorielle discriminante (AFD):** L'analyse factorielle discriminante (AFD) a été effectuée à partir des 12 variables quantitatives étudiées et des trois groupes définis par la classification ascendante hiérarchique et a permis à travers le test de  $\chi$ -Wilk, de révéler 3

descripteurs ou variables qui ont une contribution très hautement significative (FLO, HTR et LEP), 1 descripteur hautement significative (PDG (g/m<sup>2</sup>)) et 3 autres avec contribution significative à 5% (PMS, PDG/Epi et TALLp) (Voir tableau 8).

Tableau 8 : Liste des variables contributives et leur niveau de signification.

Variables	$\chi$ -Wilk	p
FLO	0.3856	0.001***
HTR (hauteur des plantes)	0.4333	0.001***
LEP	0.4678	0.001***
PDG (g/m <sup>2</sup> )	0.5246	0.002**
PMS (g/m <sup>2</sup> )	0.6258	0.041*
PDG/Epi	0.7562	0.042*
TALLp	0.8143	0.005*

**Structuration de la diversité agromorphologique par l'analyse factorielle discriminante (AFD):** Les fonctions discriminantes issues de variables utilisées pour classifier les unités formées dans les différents groupes sont présentées en valeurs propres dans le tableau 8 et en graphique dans la figure 8 ci dessous. La première fonction ou axe 1 discrimine fortement la productivité des accessions (PDG (g/m<sup>2</sup>), elle a la magnitude la plus élevée et cumule près de 89% de la variabilité (Voir tableau 10). Cette première fonction permet de classer les accessions

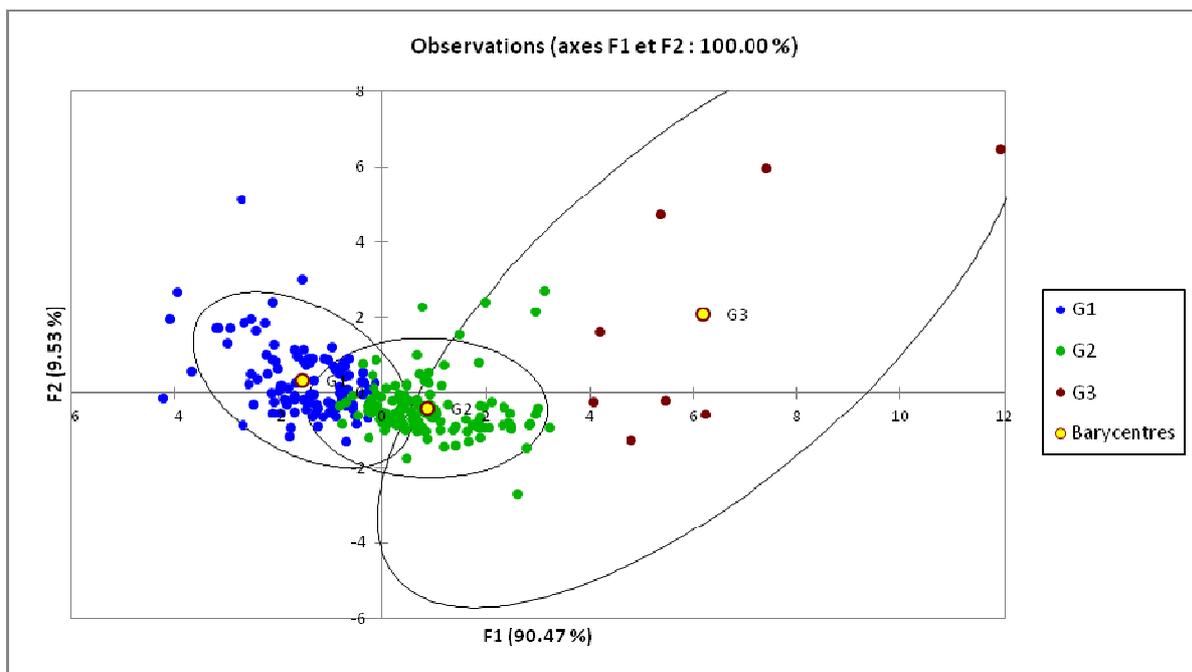
arrivées à maturité et ayant une production assez importante en grains. Ce groupe englobe en gros l'ensemble de toutes les accessions qui ont pu boucler leur cycle dans l'un ou moins des sites d'expérimentation. La seconde fonction est définie par le reste des accessions qui est constitué par les accessions trop tardives qui n'ont rien donné dans les 3 sites et pendant les 2 années de test. Elles ne représentent que 0.156 de la variabilité.

**Tableau 10** : Pourcentage d'inertie et définition des axes dans l'analyse canonique discriminante.

Axes	1	2
Valeurs propres	4.096	0.095
Pourcentage d'inertie	0.886	0.156
Pourcentage d'inertie cumulée	0.885	0.990

**Représentation graphique des groupes dans le plan factoriel discriminant (PFD):** Le plan factoriel discriminant représentant les trois (3) groupes par des axes canoniques 1 et 2 donne une répartition ou groupage des accessions suivant les variables les plus déterminantes. Le graphique montre que les accessions se divisent en trois (3) groupes (G'1, G'2 et G'3) selon les similitudes et les affinités agromorphologiques. Comme on le voit, le groupe G'1 (en bleu) principalement situé sur le quatrième quadrille avec des X négatifs et des Y positifs contient les accessions arrivées à maturité avec une biomasse inférieure à la moyenne générale. Le groupe G'2

(en vert), logé entre les Y positifs et négatif avec les X positifs, englobe les accessions arrivées à maturité ayant une production de grains et de fane (importante biomasse). Le cycle des accessions de ce groupe est aussi très varié, il va du précoce au long en passant par les cycles courts et intermédiaires. Le groupe G'3 (en rouge) situé dans le quadrille complètement positif (X positifs, Y positifs) compte les 8 accessions les plus tardifs. Elles sont caractérisées par une importante biomasse avec une faible production en grains (Voir figure 8).



**Figure 8** : Représentation des différents groupes dans le plan factoriel discriminant avec les axes 1 et 2 définis ci-dessus.

## DISCUSSION

Selon les résultats des différentes analyses statistiques effectuées, les 243 accessions de la collection nationale se retrouvent bien dans les deux groupes de mil (Souna et Sanio) définis par Bezancon *et al.*, (1997) et Bono, (1973). Elles sont soit photopériodiques et tardives soit précoces et non photopériodiques. Les Sanios sont au nombre de 9 accessions sur les 243 accessions testées soit un pourcentage de 5%. Les corrélations positives qui lient la

floraison (FLO) à la vigueur à la levée, au poids de 1000 grains (P1000) et au nombre d'épis récoltés (NER) indiquent que plus les variétés sont tardives plus les plantes sont vigoureuses, fertiles en talles et ont un poids de 1000 grains plus important. Ces résultats corroborent bien avec ceux de Bono. (1973), qui avait signalé qu'en période de stress hydrique, les variétés hâtives de mil présentent des tiges plus courtes, des talles productives

moins importantes avec généralement des grains moins garnis donc plus légers. Des résultats similaires ont été obtenus par Risi et Galwey (1989) et Rojan *et al.* (1988) qui avaient trouvé de fortes corrélations entre la maturité physiologique et le diamètre des tiges sur *Chenopodium quinoa* Willd. En outre, des corrélations positives entre le délai de floraison et le poids de mille grains ont été rapportées par plusieurs auteurs sur de nombreuses autres espèces (Ochoa et Peralta 1988) sur *Chenopodium*. Tous ces auteurs ont signalé que plus le cycle n'est court, plus la variété a de chance à arriver à maturité dans les conditions agroclimatiques difficiles des zones sèches et arides d'Afrique et d'Asie. Il est évident que seules les variétés arrivées à maturité donnent des grains et les plantes trop tardives ne peuvent donner que de la paille d'où l'intérêt de promouvoir les variétés précoces dans les zones à risque comme les régions Nord et Centre Nord du Bassin Arachidier Sénégalais (BAS). Les corrélations négatives fortes qui lient le rendement en grains à la floraison ( $r=-0,60$ ) montrent que, plus le cycle est long, moins le rendement en grains est faible car la variété a peu de chance d'arriver à maturité pour donner des grains. Au contraire, la faible corrélation entre la longueur des épis et la hauteur des plantes ( $r=0,128$ ) montre que la longueur de l'épi ne dépend pas de la taille des plantes. Les plantes de grande taille comme les plantes naines peuvent produire de longs épis. Il en est de même entre la date de floraison et la hauteur des plantes ( $r=-0,10$ ), indiquant que la précocité ne dépend pas de la hauteur des plantes, ainsi une variété de grande taille peut être précoce ou tardive et vice versa. Les écarts importants existant entre les minima et les maxima pour les variables observées montre qu'il existe une grande diversité au sein des accessions collectées. Les variétés locales de mil sont très différentes d'un village à un autre et souvent d'un paysan à son voisin. Akanvou *et al.*, 2012 ont fait également les mêmes observations sur 115 accessions de mil collectées en Côte d'Ivoire et testées avec 11 paramètres. La collection nationale du Sénégal compte 9 Sanios et 234 Sounas soit un pourcentage de 5%. La plus grande variabilité est trouvée chez les Sanios même si les Sounas ont des cycles, des tailles et des longueurs d'épis très variables. Dans les Sounas, il a été noté une forte hétérogénéité morphologique et phénotypique. Les formes architecturales des épis présentent une large gamme de variations. Ainsi, le paramètre le plus variable est l'architecture de l'épi. La forme cylindrique avec le bout pointu est le caractère le plus partagé mais on y trouve des formes coniques, elliptiques, en fuseau. La majorité des grains sont de couleur grise type Souna 3, mais on trouve aussi des

variétés à grains jaunes, jaunes-clairs, violet et bruns. Les variétés à grains bruns sont plus présentes dans l'extrême Nord du pays entre Podor et Kidira. Dans le Bassin Arachidier, on peut les retrouver mais à très faible taux. La compacité est aussi un caractère très présent chez la plupart des variétés locales mais on trouve aussi des formes lâches provenant surtout des variétés à gros épis cultivés dans le Nord et l'est du Sénégal. L'importante variabilité morphologique trouvée chez des accessions testées peut être attribuée aux modes de gestion de semences par les paysans. Presque dans toutes les exploitations, les semences sont choisies sur la récolte de l'année précédente par le chef de carré. Cette pratique continue de sélection des semences a fait que les variétés cultivées répondent aux vices du producteur. Comme la plupart des paysans préfèrent les épis longs aux épis courts, les plantes de grande taille aux naines, les grains clairs aux grains bruns, ce sont donc ces formes qui dominent dans les variétés locales et traditionnelles. Cependant, cette méthode de sélection a plusieurs tares que beaucoup de paysans ignorent encore. Les chefs de famille ou de carré qui se chargent souvent de choisir les épis à conserver comme semences ne les prennent pas sur le terrain mais plutôt à la maison quand toute la récolte est rassemblée. Leur choix est surtout guidé par la beauté, la forme et la longueur des épis alors que comme indiqué plus haut, l'architecture de l'épi est peu liée à la forme de la plante-mère. Les sélectionneurs ont toujours proposé que le choix des épis pour semences se fasse sur le terrain et sur des pieds debout. Ainsi, on arrive à éliminer les plantes malades, attaquées par le Striga et peu productives en talles. En outre, plusieurs cultivars sont présents soit sur la même parcelle ou sur des parcelles adjacentes et le flux de gènes qui se produit, peut entacher la pureté variétale nécessaire dans la production des semences de variétés allogames comme le mil.

L'analyse en composantes principales basées sur la variation par rapport au rendement en grains des autres caractères montre que la diversité morphologique est structurée principalement autour du nombre de grains par épi (NG/Epi), de la précocité (FLO), de la hauteur des plantes (HTR) et de la longueur des épis (LEP). Les variétés les plus productives sont en général les plus précoces à quelques exceptions près. Cette tendance de la diversité morphologique a été observée par KOFFI *et al.*, 2011 sur la collection de mils de la Côte d'Ivoire. Ainsi, mêmes si les conditions agroclimatiques déterminent la vie et le comportement de la plante, les paramètres du cycle, de la taille des plantes, de la longueur des épis et de la couleur des grains restent les critères très discriminants dans la gestion des ressources phylogénétiques et la

caractérisation agromorphologique des accessions de mil. Ces paramètres sont donc d'une importance capitale dans la gestion de banques de gènes. Les analyses multi variées (ACP, CAH et AFD) ont confirmé la répartition des accessions en trois principaux groupes selon le cycle végétatif. Les analyses discriminantes montrent que les variétés à cycle extra-précoce et les cycles courts peuvent

se regrouper pour former le grand groupe des variétés à cycle court ou arrivées à maturité. Selon Djé *et al.*, 2007, les caractères phénologiques comme le cycle végétatif, phénotypiques comme la taille des plantes, et du rendement comme le poids de grains par hectare constituent les caractères les plus utilisés par les paysans pour la sélection des variétés à cultiver.

## CONCLUSION

L'analyse statistique simple pour la tendance centrale et la dispersion a montré qu'il existait une variabilité énorme entre les accessions de la collection nationale pour tous les caractères observés. Ceci a été confirmé par les autres analyses comme les ACP, CAH et AFD. Ainsi, une grande diversité morphologique a été observée entre les accessions de la collection nationale de mils locaux du Sénégal. Les variables phénologiques présentent des écarts importants. On note des différences très hautement significatives entre les variétés aussi bien pour la floraison que pour la maturité physiologique qui en découle. A titre d'exemple, nous constatons qu'il existe une différence de plus de 30 jours entre la floraison des variétés précoces et celles tardives. Cette différence est due à l'effet génotypique mais aussi aux conditions agroclimatiques de culture car elle varie d'un site à un autre. Les paramètres morphologiques présentent aussi des variations allant du simple au double pour certaines accessions. Ainsi, on peut noter que la hauteur des tiges varie de 140cm pour les plantes courtes à 249cm pour les variétés à grande taille et la longueur des épis varie de 27 à 93cm, etc. Les différences les plus remarquables sont obtenues au niveau des composantes du rendement. En effet, le poids de grains par parcelle ou PDG ( $g/m^2$ ) varie de 13,7 pour les variétés les moins productives à 62g par mètre carré pour les variétés les plus productives (soit 4,5 fois). Il en est de même pour le poids de matière sèche ou PMS ( $g/m^2$ ) qui oscille entre 301 et 1562. D'après la classification ascendante hiérarchique, les accessions se retrouvent parfaitement dans le groupage défini par la Conférence des Ministres de l'Agriculture de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (CMA/AOC tenue en 2005 et la classification de Clément., 1985 et Zongo *et al.*, 1988 qui attribue aux variétés cultivées de mil deux classes que sont les Sounas et les Sanio. Les Souna sont généralement précoces et non photopériodiques alors que les Sanio sont le plus souvent tardives et photopériodiques. Tant que les jours restent plus longs

que les nuits, le Sanio ne fleurit pas. Les principales caractéristiques des variétés locales sont le résultat de la préférence des paysans dont la méthode de sélection des semences est basée sur le visuel et le toucher. Ainsi, on voit que les préférences peuvent être différentes suivant les zones de culture, les conditions agroclimatiques et le sexe. Par exemple, les hommes préfèrent les épis longs, les plantes de grande taille pour des raisons de travail alors que les femmes se préoccupent des compacités des épis pour le rendement au battage attendu. Comme souligné plus haut, l'interaction (GXE) en général est restée non significative pour tous les caractères à l'exception de la floraison, des rendements au battage, en grains et en biomasse. Donc, à l'exception de ces 4 variables, pour toutes les 8 autres, la variabilité entre accessions est due à l'effet génotypique et non phénotypique. Comme avantage de l'interaction non significative, on peut sélectionner des idéotypes standards dans une des stations (ex : Bambey) alors que pour les 4 caractères à interaction positive, il existe une certaine adaptabilité et/ou stabilité des accessions par rapport aux différents sites. Ainsi, pour cribler par rapport aux dits caractères, il faut installer un essai dans chaque site et faire le choix des bons idéotypes sur place. La valeur souvent élevée de l'héritabilité pour la majorité des variables étudiées montre que ces caractères sont hautement héréditaires et sélectionner en leur faveur est chose aisée car ils se transmettent facilement de génération en génération. Selon les résultats des analyses de diversité génétique, les accessions se répartissent en trois (3) groupes G1 avec 106 accessions, G2 avec 129 accessions et G3 avec seulement 8 accessions. Les groupes G1 et G2 peuvent se rassembler et former un grand groupe des variétés extra-précoces et à cycle court qui proviennent toutes des régions centrales du pays. Le troisième groupe est composé seulement de 8 variétés très diversifiées selon le plan factoriel discriminant.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout le personnel de l'ISRA en commençant par le Directeur général qui a permis la

réalisation de ce travail en autorisant mon inscription en thèse et à conduire les essais dans les différentes stations

de l'ISRA sans oublier la direction du CNRA de Bambey et du CERAAS de Thiès qui ont vraiment tout facilité. Je voudrai en même temps exprimer tous mes remerciements au Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (WAAPP/PPAO) et le Programme

Allemand pour l'Amélioration du Mil (BMZ) pour leur soutien financier. Merci à tous les collègues (chercheurs, techniciens et ouvriers) qui ont de loin ou de près contribué à la bonne exécution des travaux de terrain et de laboratoire.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- Anon., 1986. Étude du Secteur agricole. Plan céréalier. Ministère du Développement Rural (MDR), 60pp
- Akanvou *et al.* *J. Appl. Biosci.* 2012 Évaluation de la diversité agro morphologique des accessions de mil
- Bezançon G, Renno J-F, Kumar KA, 1997. Le mil .In : Charrier A, Jacquot M, Hamon S, Nicolas D. Eds. L'amélioration des plantes tropicales. Paris CIRAD-ORSTOM. 457-482.
- Bidinguer F.R. *et al.* 1987. Breeding for adaptation to environmental stress in ICRISAT, Proceeing of the International Pearl millet workshop, 7-11 April 1986. ICRISAT Center, India pp. 269-278.
- Bidinguer F. R. Mahalakshimi V. et RAO G.D.P. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet(*Pennisetum americanum* (L) Leeke). Factors affecting yields under water stress. *Australian journal of Agric. Res.*, 38: 37-48
- Bono M, 1973. Contribution à la morphosystématique des *Pennisetum* annuels cultivés pour leur grain en Afrique Occidentale francophone. *Agronomie tropicale*, 28 (3) : 229-356
- Brown AHD., Munday J. (1982). Population-genetic structure and optimal sampling of land races of barley from Iran. *Genetica* **58**, p. 85-96
- Clément, JC, 1985. Les mils pénicillaires de L'Afrique de L'Ouest. Prospections et collectes IBPGR-ORSTOM. IBPGR, ROME 85/15 -ORSTOM, 231P
- Clotault J. *et al.*, 2012. *Mol Biol Evol.* 29(4): 1199-12
- Conférence des Ministres de L'Agriculture de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (CMA/AOC), 2005. Filière MIL /sorgho. Note Technique.
- FAO/IBPGR/ICRISAT, 1993 Descripteurs Du Mil Pennicillaire (*Pennisetum glaucum* (L.). International Board for Plant Genetic Resources (Roma) – 1993 – Germplasm resources, Plant
- Falconer, D. S., 1990 Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. *Genet. Res.* 56: 57-70.
- Frankel O., Brown AHD., Burdon JJ. (1995). *The conservation of plant biodiversity.* New York, USA: Cambridge University Press, 299 p.
- K. G. C Koffi, L. Akanvou, R. Akanvou, B. I. A. Zoro, C. K. Kouakou, H. A. N'da, 2011, Diversité morphologique du sorgho (*sorghum Bicolor L. Moench*) cultivé au nord de la Cote D'ivoire
- Risi J, Galwey NW. 1989. The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). Association between characteristics. *Euphytica* 41: 147- 162.
- J. Ochoa, E. Peralta, Evaluacion preliminar morfologica y agronomica de 153 ... del VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, Quito, Ecuador, 1988, pp.
- Y. Djè, M. Heuertz, M. Ater and L.X. Vekemans, *Biotechnol. Agron.Soc. Environ*, 11 (2007) 30-40
- Zongo JD, Sédogo MC, sérémé P, Zangré GR, 1988. Synthèse des prospections du mil (*Pennisetum glaucum* (L).R.Br) au Burkina Faso Pp. 121-131. *In* Proceedings of the Regional Millet Improvement Workshop (L.K. Fussel and J.Werder, eds.) ICRISAT-Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University (IAR), Zaria, Nigeria, 15-19 August 1988. ICRISAT, Patancheru, A.P. 502-324, India.