

TABLE DES MATIERES

Résumé	ii
Abstract.....	iii
DEDICACES.....	iv
Table deS matières	v
REMERCIEMENTS	viii
LISTE DES ABREVIATIONS	xii
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES IMAGES	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES ANNEXES	xiv
Introduction	1
Chapitre I- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I.1. Généralités sur le sorgho	3
I.1.1. Taxonomie	3
I.1.2. Diversité.....	4
I.1.3. Culture du sorgho.....	5
I.2. Importance du sorgho.....	6
I.2.1. Production.....	6
I.2.2. Utilisation du sorgho.....	6
❖ Utilisation du sorgho dans l'alimentation humaine.....	7
❖ Utilisation du sorgho dans l'alimentation animale.....	7
❖ Utilisation du sorgho dans l'industrie et l'habitat	8
I.3. Amélioration variétale du sorgho et son utilisation au Sénégal	9
I.4. Aspect nutritionnel du sorgho	9
❖ Composition du Sorgho.....	9
❖ Digestibilité des protéines du sorgho	10

❖ Les facteurs exogènes	11
❖ Facteurs endogènes.....	12
❖ Facteurs génétiques	14
Chapitre II- MATERIELS ET METHODES.....	16
II.1. Matériels.....	16
II.2. Méthodes	17
II.2.1. Site de l'expérimentation	17
II.2.2. Condition d'expérimentation	17
II.2.3. Pluviométrie dans les sites de l'essai	18
II.2.4. Méthode de collecte de données agro-morphologiques avant la récolte	19
II.2.5. Collecte de données agro-morphologiques post-récolte.....	21
II.2.6. Traitement et analyse de données	23
Chapitre III- RESULTATS ET DISCUSSION.....	24
III.1.1. Résultats de l'analyse de variance des caractères mesurés des lignées dans les deux sites	24
III.1.2. Variabilité et performance des lignées dans les deux sites	25
III.1.3. Performance des variétés pour les variables étudiées	27
III.1.4. Comparaison de la performance des lignées pour le rendement dans les deux sites	31
III.1.5. Comparaison de la performance des lignées pour le rendement en grains en fonction du score moisissure à Bambey	32
III.1.6. Comparaison de la performance des lignées pour le rendement et la résistance aux moisissures des grains à Darou Pakathiar.....	33
III.1.7. Comparaison de données combinées du score moisissure en fonction du rendement dans les deux sites.....	34
III.1.8. Analyse sur les corrélations	35
III.1. DISCUSSION.....	36
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	37

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	38
ANNEXES	44

REMERCIEMENTS

Je bénis le Seigneur Dieu lui la source de toute vie pour les bienfaits qu'il m'a accordés. N'eût été le Tout Puissant, ce mémoire n'aurait pas lieu d'être. Gloire à Dieu au plus haut des cieux et paix sur la terre aux hommes qu'Il aime !

L'enseignement de qualité dispensé par l'UCAD a également su nourrir mes réflexions et a représenté une profonde satisfaction intellectuelle. Merci donc aux professeurs, enseignants-chercheurs particulièrement le Recteur Pr Ibrahima THIOUB, parti récemment à la retraite et le nouveau Recteur Pr Ahmadou Aly MBAYE, les doyens de la Faculté des Sciences et Techniques Pr Joseph SARR et son successeur ainsi qu'au Pr Massamba MBAYE et Dr KANE récemment Chef du Département de Biologie végétale et l'ensemble des professeurs, chercheurs et enseignants du département Biologie végétale ainsi que les coordinateurs du master BioVeM en l'occurrence Pr Ngor DIOUF et Dr Mansour THIAO pour avoir approuver ma candidature en cette formation, je leur assure tous ma reconnaissance.

Hommage respectueux au bailleur qui a financé ce projet jusqu'à sa réalisation je veux citer *USAID Feed the Futur Sorghum and Millet Innovation Lab (SMIL)*. Ils m'ont permis d'être dans de bonnes conditions à travers le financement de mes activités.

Sincères reconnaissance au CERAAS qui m'a accueilli pour effectuer mon stage de mémoire.

Merci au Directeur, Dr Ndjido Ardo KANE et tout le personnel du Centre. Les appuis et orientations m'ont été grandement utile.

Un grand merci à ma directrice de mémoire Dr Elisabeth DIATTA-HOLGATE, pour le temps qu'elle a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche et même au-delà. Elle m'a intégré avec confiance dans son programme de recherche et m'a soutenu tout au long de mon stage. Son exigence m'a grandement stimulé et orienté.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de tous les participants du jury pour le temps consacré et leur disponibilité pour l'encadrement du travail, je veux nommer Dr Abdala DIEDHIOU, Dr Mansour THIAO et Dr Aliou NDIAYE.

Sincères remerciements au Dr Mansour THIAO qui m'a aussi orienté dans l'encadrement. Je l'ai sollicité à plusieurs reprises dans les corrections.

Au Dr Aliou NDIAYE qui a accepté de m'encadrer également, sincères remerciement ! Il a toujours su me comprendre et être au-delà de mes attentes.

Je remercie en particulier les techniciens Ousmane AIDARA, Abdoulaye NDAO, Tonton Alassane DIOUF, Tonton Papa NDIAYE, et tout le personnel de l'ISRA/CNRA de Bambey pour m'avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser mon travail de terrain.

Merci au personnel de ISRA/CERAAS, à la technicienne du laboratoire Mme Ndèye Coura FALL NDIAYE et Tata Khady NDOUR pour le soutien technique.

Un grand merci également au Dr Cyril DIATTA pour avoir eu la patience de répondre à mes innombrables questions. Il a partagé son savoir et son temps avec moi.

J'aimerais exprimer ma gratitude à tous les chercheurs et spécialistes, trop nombreux pour les citer, qui ont pris le temps de discuter de mon sujet. Chacun de ces échanges m'a aidé à faire avancer mon analyse.

Merci à ma famille au CNRA de Bambey je veux nommer Hamad NDOND, le gestionnaire du Centre et son épouse Astou, pour l'accueil chaleureux que vous m'avez réservé avec les succulents plats de midi. Votre générosité est indéfectible. Heureux ménage à vous ! A votre fils Mohamed pour les moments forts de divertissement passés en sa compagnie, qu'il grandisse en âge et en sagesse. Merci à Paul MARONE lui qui m'a intégré dans cette famille.

Merci à la CEB St Grégoire du CNRA pour les moments spirituels et de divertissement passés ensemble. Merci à Tata Rosalie Diouf, l'archiviste documentaliste du CNRA pour la documentation et les orientations.

Merci à Jean Louis THIAW qui m'a accueilli à Thiès ainsi que sa famille. J'ai passé d'agréables moments avec toi et tes amis. Dieu vous bénisse ! A Claude René mon tuteur et sa famille, à Jeanne, Christine Yama, Jean Léon, Anna Fatou, Justin et Christine Kiki merci pour l'hébergement, la disponibilité, les prières, les soutiens et encouragements, vous m'avez aussi ouvert les portes de votre maison. Vous êtes ma seconde famille.

Je dois reconnaissance à Tonton Vincent Ali et sa famille à Keur Massar, vous m'avez à plusieurs reprises ouvert les portes de votre maison pour que j'y passe un séjour.

Un grand merci à mon beau-frère Gaston AFODOGNADJI qui s'est chargé de concevoir les documents en papier. Je sais qu'il a agi à maintes reprises dans l'ombre.

« Chaque fois que vous l'avez fait à l'un de ces plus petits de mes frères c'est à moi que vous l'avez fait » nous dit Jésus dans Mt 25.40

Merci à tous mes camarades stagiaires à Thiès comme à Bambey (Aminata SAOU, ma compagne, Ousmane NIANG, Charlotte, Mamadou, Coumba, Seydina BA, Daouda BALDE, Sarany, Raphael, Grégoria, Ornélia, Sophie, Dior, Bénédicte Thérèse SILVA ma « lakalé », Fatou SARR, Fatou NIANG, Moustapha, Souleymane, Mokhtar) pour les échanges, compléments pédagogiques et les diners en famille étudiante. Le chemin est long et pénible mais restons concentré tout ira bien par la grâce de Dieu !

Demandez, on vous donnera ; cherchez, vous trouverez ; frappez, on vous ouvrira. Mat 7-7

Aux journaliers et autres techniciens du CNRA je dis un grand merci pour les moments joyeux dans le travail. Chaque jour mes pensées s'envolent vers vous à travers votre gentillesse et disponibilité.

Merci à mes camarades de même promo (BioVeM 2019) ce fut un grand plaisir d'apprendre à vos côtés.

Merci à la Coordination des étudiants catholiques de Dakar (CECD) y compris l'AECC et la CCSJ/FST ainsi qu'à la paroisse universitaire St Dominique de Dakar. Vos prières m'ont beaucoup soutenu.

A mes colocataires au campus social (les chambres 16^E, 64^E, 85^D, 67^D, 12^B) particulièrement Gilbert Wali DIOUF, Jonas S. SENE, Gaston G. THIAW, Alfred TINE, Alfred MANE et Claude PRAIRA merci à vous !

Merci à l'Amicale des élèves et étudiants de la commune de Pambal (AEECP).

Merci à mes amis de très longue date comme Jean Jacques, Claude Pathé, François, Justin à la Relève de Yendane et j'en passe vous avez été hors pair à l'UCAD et à la maison.

A mes cousins, cousines, camarades, voisins, proches, que tous vos efforts à mon égard se convertissent en grâces et en bénédictions.

A la population de Yendane mon village natal, merci !

Je remercie toutes ces personnes qui ont croisé mon chemin et m'ont assisté sans que je ne m'en aperçoive.

A ma très chère et tendre Adéline Siga DIOUF, toujours à mes côtés malgré la distance. Merci beaucoup pour les prières. « Mon infinie !»

A ma famille pour qui j'ai tant d'affection, pour le soutien et les encouragements qui m'ont beaucoup aidé depuis le début de mon cursus scolaire.

Je vous porte tous dans mes prières et mon cœur !

LISTE DES ABREVIATIONS

CERAAS : Centre d'étude régionale pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse

CNRA : Centre national de recherche agronomique

DPan : Diamètre panicule

HPl : Hauteur plante

ITA : Institut de technologie alimentaire

LPan : Longueur panicule

NPaR : Nombre de panicules récoltées

NPR : Nombre de poquets récoltés

PGr : Poids grains par parcelle

PMG : Poids de mille grains

PPaR : Poids panicules récoltées par parcelle

Rdt : Rendement

Sc.Mois : Score moisissures

TEnd : Texture de l'endosperme

UCAD : Université Cheikh Anta Diop

QTL : Quantitative trait loci (Locus de caractères quantitatifs)

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Taxonomie du genre *Sorghum*, d'après Harlan et de Wet (1972) 4**
- Figure 2 : Corps protéique du sorgho non muté (A) ; corps protéique d'un mutant de sorgho hautement digestible (B) montrant les différentes localisations de alpha, bêta et gamma-kafirines ; invagination profonde de la structure du corps protéique de sorgho muté (Duodu *et al.*) 13**
- Figure 3 : localisation des deux sites Bambey et Darou 17**
- Figure 4 : Dispositif en 4x5 alpha lattice de Bambey 18**
- Figure 5 : Pluviométrie à Bambey et à Darou durant la période de l'essai 19**
- Figure 6 : Diagramme comparatifs du rendement en grains des lignées de sorgho à PHD dans les deux sites 31**
- Figure 7 : Performances des lignées pour le rendement en grain en fonction du score moisissure à Bambey 32**
- Figure 8 : Diagramme du Score moisissure des lignées sur le rendement à Darou 33**
- Figure 9 : Diagramme de comparaison du score moisissure en fonction du rendement combiné des deux sites 34**

LISTE DES IMAGES

- Image 1 : Les lignées de sorgho à Bambey 2**
- Image 2 : Battage (A) et vannage (B) manuels 21**
- Image 3 : Dispositif d'observation de la texture de l'endosperme chez le sorgho 22**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition chimique du sorgho, du blé et du maïs 10

Tableau 2 : Echelle de notation de la sévérité de la maladie à la maturité physiologique (Thakur *et al.*, 2007) 20

Tableau 3 : Variabilité des lignées pour les différents caractères dans les deux sites : Moyenne carrée des caractères 24

Tableau 4 : Variabilité au sein des lignées 26

Tableau 5 : Performance des lignées pour les variables étudiées dans les deux sites 27

Tableau 6 : Analyse de la corrélation entre les variables pour les données combinées des deux sites 35

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Analyse de variance des lignées à Bambey 44

Annexe 2 : Analyse de variance des lignées à Darou 44

Annexe 3 : Croisement entre Faourou et P721Q 45

Annexe 4 : Anatomie d'un grain de sorgho (coupe longitudinale) (Serna-Saldivar, 1995) 45

Annexe 5 : Dispositif de Bambey 46

Annexe 6 : Dispositif de Darou 46

Annexe 7 : Analyse des corrélations des variables à Darou 47

Annexe 8 : Analyse des corrélations des variables à Bambey 47

Annexe 9 : Image montrant le dessèchement des plants à Bambey 47

Annexe 10 : Poster 48

INTRODUCTION

Les céréales cultivées au Sénégal sont essentiellement le mil, le sorgho (Image 1), le maïs, le riz paddy et le fonio (ANSD, 2019). En 2016, une baisse de 1,3% de la production de céréales a été notée comparée à l'année 2015. La diminution de la production de mil (-13,2%) et de sorgho (-5,6%) qui représentent 69% des superficies emblavées (DAPSA, 2017) est à l'origine de ce phénomène (SES, 2016).

L'augmentation de la population urbaine et la diversification des besoins en produits alimentaires font que la demande totale en grain de sorgho reste insatisfaite. Dans cette perspective, le développement de variétés de plus en plus productives et l'amélioration des systèmes de cultures demeurent des préoccupations constantes de la recherche (Comas & MacPherson, 2002). Dès lors, l'augmentation des rendements en milieu paysan reste une des priorités majeures. Pour cela, le programme de recherche de l'institut sénégalais de recherche agricole (ISRA) sur l'amélioration génétique du sorgho s'active dans la création de variétés à haut rendement et de bonne qualité de graines, résistantes aux différentes contraintes biotiques et abiotiques (Diatta, 2018). De 2012 à 2016, le Sénégal est passé de 502,7 milliers de tonnes de blé importé à 583,5 milliers de tonnes soit une hausse annuelle en moyenne de 3,3% (ANSD, 2016). Pour palier ce phénomène, l'institut de technologie alimentaire s'active dans la recherche en vue de réduire la quantité de farine de blé dans le pain local en la remplaçant par des farines de céréales locales mieux accessibles (projet de diffusion et d'adoption à grande échelle des technologies"). La farine de sorgho a montré une bonne aptitude à la panification en mélange avec la farine de blé (Sambe & Tounkara, 2017). En effet, l'ITA a réussi à substituer la farine de blé dans le pain par celle du sorgho à hauteur de 20 % (Sambe & Tounkara, 2017), mais le défi demeure avec le manque de gluten dans le sorgho qui est un élément essentiel en boulangerie (Chantereau *et al.*, 2013). Les pains ont présenté une bonne qualité semblable à celle du pain 100% blé, avec une bonne texture de la mie, de la croûte et un bon goût (Sambe & Tounkara, 2017). De plus, l'incorporation du caractère à haute teneur en lysine et à haute digestibilité protéique dans les variétés de sorgho adaptées localement fournira un produit à plus grande valeur nutritionnelle pour la nutrition infantile (Diatta, 2018). Des études récentes ont abouti à la création de 18 lignées biparentales de sorgho à protéines hautement digestibles (Diatta, 2018).

L'objectif principal de cette étude a été de faire la caractérisation agro-morphologique de ces 18 lignées BC₃F₆ de sorgho à protéines hautement digestibles dans le bassin arachidier. Plus spécifiquement, il s'agissait de :

- Evaluer la diversité qui existe entre les lignées pour les variables étudiées
- Evaluer l'effet des deux écosystèmes sur le rendement en grains et la résistance aux moisissures



Image 1 : Les lignées de sorgho à Bambey

I.1. Généralités sur le sorgho

Le sorgho est une céréale d'importance mondiale en raison de son adaptation aux zones arides auxquelles les autres céréales majeures ne sont pas très adaptées (Smith & Frederiksen, 2000). Le sorgho est généralement adapté aux conditions chaudes et sèches dû à son système racinaire plus étendu et fibreux qui lui permet d'obtenir plus d'humidité en profondeur. Le sorgho requiert moins d'humidité pour sa croissance contrairement aux autres céréales cultivées comme le maïs et a un cycle de maturité compris entre 90 et 140 jours selon les variétés (House, 1985).

La date de domestication du sorgho ne fait pas consensus dans la communauté scientifique principalement en raison de peu d'indices archéologiques disponibles (Labeyrie, 2013). Trois principales hypothèses ont été proposées concernant cette date. La première est celle d'une domestication précoce (Labeyrie, 2013). En effet, Murdock (1959) fait l'hypothèse d'une domestication en Afrique de l'Ouest aux alentours de 4500 ans avant J.C. par les populations Mandé qui auraient ensuite connu une expansion et auraient introduit le sorgho au Soudan vers 4000 ans av. J.C., mais cette hypothèse est peu soutenue. La seconde est que plusieurs études suggèrent plutôt une domestication dans la zone du Soudan et de l'Éthiopie (Doggett, 1988) aux alentours de 6000 ans av. J.C. Des restes de sorgho carbonisés datant de 8000 ans ont été découverts au sud de l'Égypte (Wendorf et al., 1992 ; (Smith & Frederiksen, 2000), mais le doute persiste concernant leur statut sauvage ou domestiqué (Labeyrie, 2013). La dernière hypothèse fait l'objet d'une domestication plus tardive, autour de 1000 ans av. J.C. et soutient que les plus anciennes et irréfutables preuves archéologiques de culture du sorgho domestiqué datent de cette époque (Stemler, 1980).

I.1.1. Taxonomie

Le sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) appartient à la famille des Poacées. Suivant une classification basée sur la notion de pool génique définie par Harlan et de Wet (1971) (figure 1), le genre *Sorghum* est divisé en cinq sections dont la section *Sorghum* composée de trois espèces, deux pérennes (*S. halepense* L. Pers. et *S. propinquum* [Kunth.] Hitchc.) et une annuelle (*S. bicolor* [L.] Moench). C'est cette dernière qui comprend les sorghos domestiqués. L'espèce *S. bicolor* est subdivisée en trois sous-espèces, ssp. *bicolor* (la forme cultivée), ssp. *verticilliflorum* (la forme sauvage apparentée) et ssp. *drummondii* (la forme adventice). Chacune des trois sous-espèces est subdivisée en races. Sur la base de critères morphologiques de

structure de l'épillet à maturité et de forme de la panicule (Barnaud, 2007) la ssp. *bicolor* est divisée en cinq races principales et 10 intermédiaires Harlan et de Wet (1972).

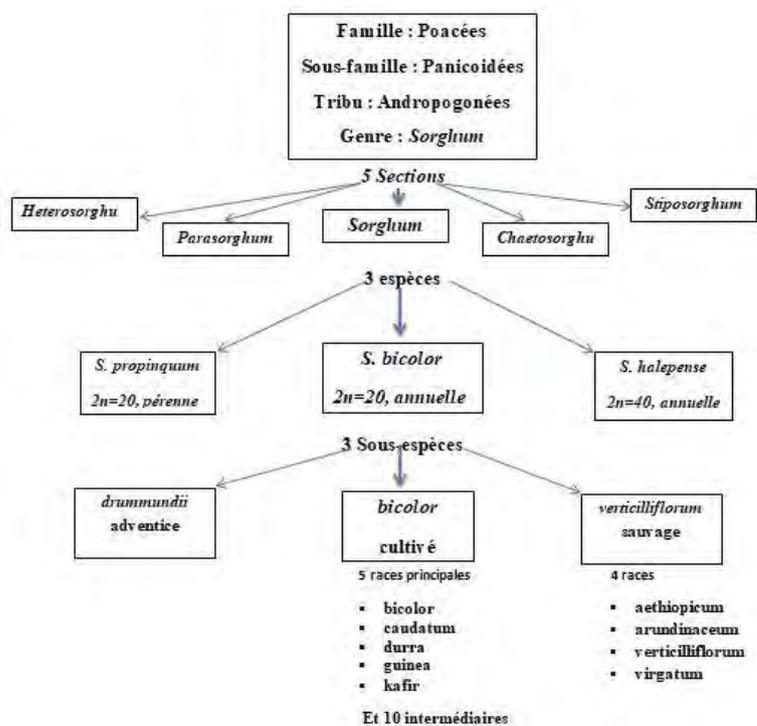


Figure 1 : Taxonomie du genre *Sorghum*, d'après Harlan et de Wet (1972)

I.1.2. Diversité

Trois sous-espèces de sorgho sont rencontrées en Afrique. Il y a d'une part *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* et *Sorghum bicolor* ssp. *Verticilliflorum* qui ont le même nombre chromosomique ($2n=20$), sont en contact et se croisent spontanément. Et d'autres part *Sorghum bicolor* ssp. *drummondii* qui est une sous espèce hybride issue de ce croisement (Chantereau & Nicou, 1991).

En Asie on retrouve un sorgho sauvage diploïde ($2n = 20$) pérenne et rhizomateuse : *Sorghum propinquum* qui donne naissance à une espèce de sorgho tétraploïde ($2n = 40$) à rhizomes : *Sorghum halepense*. Cependant cette dernière est une espèce adventice du sorgho cultivé partiellement nuisible. Elle est plus connue en Europe sous le nom de sorgho d'Alep et aux États-Unis sous le nom de Johnson grass (Chantereau & Nicou, 1991).

Diversité variétale et culture du sorgho au Sénégal

Au Sénégal le sorgho est cultivé depuis les années 1950 (Mauboussin *et al.* 1977) et l'ISRA a développé 11 variétés de sorgho : CE 145-66 , CE 151-262 , CE 180-33 , CE 196-7-2-1 , F2-20 , Faourou , Nguinte , Nganda . Darou (ISRA, 2012) , Payenne et Golobe (Cisse, 2015). Elles ont toutes été sélectionnées au centre national de recherches agronomiques (CNRA) de Bambey. Ces variétés appartiennent toutes à la race caudatum. En effet, les 5 premières variétés ont une teneur en acide tannique comprise entre 0,01 et 0,3% par contre les autres variétés à savoir Faourou, Nguinte, Nganda et Darou sont sans tannin (ISRA, 2012).

Au Sénégal la culture du sorgho pluviale est essentiellement pratiquée dans le Centre-Sud et le Sud-Est, et en décrue il est cultivé le long de la vallée du fleuve Sénégal (Comas & MacPherson, 2002).

Le sorgho est également cultivé au Sud du Sine Saloum. Au centre Nord il est la principale céréale dans les terrains argileux (sol-dék) (Mauboussin *et al.*,1977). En plus des contraintes climatiques et de fertilité des sols, les rendements du sorgho sont aussi limités par divers bio agresseurs, comme des maladies fongiques et bactériennes, des insectes ravageurs, des oiseaux ainsi que le striga, une plante parasite très présente en Afrique.

I.1.3. Culture du sorgho

Il pousse dans des terrains secs, des sols détremés ou à forte salinité et tolère bien la chaleur ; ces qualités lui confèrent un avantage considérable par rapport à d'autres cultures céréalières dans les régions de la zone tropicale et semi-aride (Asiedu, 1991). Cependant sa production est confrontée à plusieurs contraintes qui entraînent des baisses de rendement. Parmi les contraintes, nous avons les irrégularités de la distribution des pluies, la faible fertilité des sols et diverses maladies et ravageurs des récoltes (Seguin & Soussana, 2008). Au Sénégal, parmi les actions en faveur de la sécurité alimentaire, figurent la création et/ou l'introduction de nouveaux génotypes de sorghos adaptés à diverses zones agro-écologiques (Ndiaye *et al.*, 2018). Il constitue une des bases de l'agriculture vivrière de la population du Sénégal (Ba *et al.*, 2010).

I.2. Importance du sorgho

I.2.1. Production

Le sorgho est la cinquième céréale mondiale cultivée derrière le maïs, le riz, le blé et l'orge ("FAOSTAT," 2018). En Afrique, le sorgho est cultivé dans une large ceinture qui s'étend de l'Atlantique à l'Ethiopie et à la Somalie, bordée par le Sahara au nord et la forêt équatoriale au sud (Barnaud, 2007). Les 5 premiers pays producteurs de sorgho en Afrique sont le Nigéria (6,5 Mt), le Burkina Faso (1,9 Mt), le Mali (1,3 Mt), le Niger (1,3 Mt) et le Ghana (0,3 Mt) (COMMODAFRICA, 2016).

En 2018, la production mondiale de sorgho s'élevait à 59 342 103 tonnes sur une superficie récoltée de 42 143 146 ha soit un rendement de 1,40 t/ha tandis qu'en Afrique sur une superficie récoltée de 29 710 774 ha le continent avait une production de 29 782 406 tonnes soit un rendement de 1,00 t/ha ("FAOSTAT," 2018). De ce fait le sorgho détient des potentiels pour assurer le développement économique de l'Afrique (Kiprotich *et al.*, 2015) entre autre le commerce des produits alimentaires issus de la transformation des grains et la production de boissons (Taylor, 2016)

Les résultats provisoires de l'ANSD de la campagne agricole 2019/2020 ont classé le sorgho en 3^e position sur les céréales cultivées au Sénégal derrière le riz et le maïs en termes de rendement. En effet, sur une surface cultivée au niveau national de 238 833 ha, la production s'élevait à 270 168 kg de Sorgho. Le rendement au niveau national est de 1131 kg/ha (ANSD, 2020).

I.2.2. Utilisation du sorgho

Le sorgho est une source majeure de nourriture et d'énergie pour les pays en développement des tropique semi-arides et est utilisé comme aliment pour les animaux dans les pays développés (Oria *et al.*, 2000). Au niveau mondial, environ 30 Mt sont utilisés en alimentation humaine (sous forme de graines, farines et semoule en Inde et en bière en Afrique Subsaharienne), 27 Mt environ en alimentation animale et en industrie dans la fabrication de solvants comme le carbonate de diméthyle, l'éthanol, le toluène (Tundo & Selva, 2002) pour un peu moins de 6 Mt de sorgho (CULTIVAR, 2017). Le sorgho peut également être transformé en biocarburants, en énergie et en biomatériaux. (Sorgho-Développement International, 2020).

❖ Utilisation du sorgho dans l'alimentation humaine

Le sorgho est consommé sous diverses formes. Selon la région, le pays ou la situation dans la société, il est utilisé sous forme de grain entier ou transformé en farine pour la préparation de biscuits (Serrem *et al.*, 2011), du couscous, de boissons alcoolisées (non-vin) (Comas & MacPherson, 2002) et des produits suivants définis par (FAO, 1997)

- pain plat, généralement sans levain, fait avec une pâte fermentée ou non, consommé en Asie et dans certaines parties de l'Afrique;
- bouillie, fluide ou épaisse, fermentée ou non. surtout consommée en Afrique à l'exemple du « tô » (bouillie traditionnelle très consistante) dans les pays de la zone soudano sahélienne en Afrique de l'ouest (Trouche *et al.*, 1999);
- produits bouillis semblables à ceux préparés à partir du gruau de maïs ou du riz;
- aliments frits à l'huile (« Boorelu », « Karapoosa »).

Au Sénégal, le sorgho est essentiellement utilisé dans l'alimentation humaine. Les produits transformés du sorgho notamment le « soungouf » et le « sankhal » sont bien appréciés (bonne à très bonne) par les ménages enquêtés (INITIATIVE MIL/SORGHO, 2001). La qualité du grain et surtout son aptitude à la préparation du couscous reste le critère le plus déterminant pour l'acceptation d'une nouvelle variété (Comas & MacPherson, 2002). Cependant son utilisation dans l'alimentation animale est de plus en plus importante due à la qualité de son fourrage.

❖ Utilisation du sorgho dans l'alimentation animale

L'utilisation du sorgho pour l'alimentation animale est importante sous deux formes principales : les sorghos fourragers dont tiges et feuilles sont utilisées fraîches ou ensilées, pour l'alimentation des herbivores en régions tropicales et tempérées ; le sorgho grain qui constitue aussi un élément de l'alimentation d'autres animaux domestiques en élevage intensif, notamment des porcs et des volailles. principalement dans certains pays industrialisés (Chantereau *et al.*, 2013).

Le sorgho local peut être utilisé dans l'alimentation des poulets de chair en substitution du maïs jusqu'à 100% dans la ration sans affecter négativement les performances de production des poulets de chair (Ayssiwede *et al.*, 2009). Des travaux de recherches effectuées à l'Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires (EISMV) de Dakar en 2007 ont montré que le

sorgho local peut être donc considéré sans doute comme une alternative au maïs dans l'alimentation des poulets de chair au Sénégal. Au vu de ces résultats et du fait qu'il existe aujourd'hui des sorghos sans tanins, il paraît nécessaire et urgent de promouvoir la culture de cette céréale qui s'y prête bien aux conditions climatiques du Sénégal (Ayssiwede *et al.*, 2009).

❖ **Utilisation du sorgho dans l'industrie et l'habitat**

Des variétés telles que CE 180-33 et CE 145-66, sont des sorghos à tanins (proanthocyanidines) et présentent les teneurs les plus élevées en composés phénoliques. Ces composés permettent une utilisation en brasserie et leur bonne activité antioxydante permettrait de stabiliser la bière (Ba *et al.*, 2010). Cette activité antioxydante est très intéressante pour la santé humaine (Ba *et al.*, 2010) dans la prévention des maladies cardio-vasculaires, du cholestérol et de certains cancers, pour les humains comme pour les animaux (Dehaynin, 2007).

Le sorgho sucré est cultivé pour la production de sirop (Srinivasa Rao & Kumar, 2013) et de bio éthanol.

Au Sénégal les chercheurs convoitent avec intérêt ce sorgho sucré parce qu'il présente de nombreux avantages pour les agriculteurs sahéliens et étant une plante bien adaptée au climat. Il combine une production alimentaire humaine et animale de grains et de feuilles avec une production énergétique issue de sa biomasse et du sucre contenu dans ses tiges. (Agroalimentaire Sénégal, 2016)

Le sorgho intervient dans l'habitat par ses tiges qui sont utilisées dans la mise en place de palissade (clôture de maison).

Etude du Sol des deux sites : Bambey et Darou Pakathiar

Des études poussées sur les sols du Sénégal ont été entreprises à partir de 1946, et des travaux de cartographie de plus en plus nombreux ont permis d'en réaliser un inventaire (Charreau & Fauck). En effet les sols bruns calcaires permettent la culture du sorgho en fin de saison des pluies et ses sols sont présents en faibles épaisseur à Bambey (Maignien, 1965). Ce sont des sols caractérisés par l'absence de structure grenue en surface et un manque de cailloux calcaires dans le profil. Les sols « DEK », « BAN » présentent une cohésion assez forte et sont de ce fait, difficiles à travailler avec les outils traditionnels. Ces types de sols sont présentent à Bambey (Maignien, 1965). C'est pourquoi ils sont beaucoup moins cultivés que les sols Dior voisin; on y fait peu d'arachide en raison de forte proportion de graines restant en terre, mais surtout du sorgho. Leur richesse chimique est plus élevée que celle des Dior mais les carences en

phosphore et en soufre restent très marqués. La culture attelée, autorisant un travail plus profond du sol, une fertilisation organo-minérale appropriée augmentent dans de notables proportions la productivité agricole de ces sols (Charreau & Fauck).

I.3. Amélioration variétale du sorgho et son utilisation au Sénégal

La diffusion et l'accès à l'information de base sur les nouvelles variétés de sorgho et sur la carte variétale de chacune des espèces cultivées au Sénégal ont longtemps été une problématique importante non résolue de producteurs (ISRA, 2012). C'est dans ce contexte que des variétés telles que Faourou, Nganda, Darou et Nguinte ont été mises sur le marché par l'ISRA. Ce sont des variétés à grain blanc, sans tanins riches en glucides et leur teneur en protéines varie entre 11,78 et 13,62 % (ISRA, 2012). Cependant leurs protéines sont très peu digérées après cuisson humide (Diatta, 2018).

Les céréales locales sèches produites au Sénégal sont essentiellement le mil, le sorgho et le maïs. Dans le domaine de la panification les boulangers industriels et artisanaux ont recours au blé qui est importé. La Fédération des Organisations Non-Gouvernementales du Sénégal (FONGS-Action paysanne) est en train de mettre en œuvre le projet de Promotion de la Souveraineté Alimentaire par la Valorisation des Céréales Locales (PSAVCL). Il vise à promouvoir la substitution des céréales locales sèches au blé dans la production de pain par les boulangers et les femmes transformatrices. L'utilisation des farines de sorgho sans tanins en panification pourrait conduire non seulement à la réduction des importations massives de blé, à la relance de la culture des céréales sèches mais aussi à la création d'emplois et à l'augmentation des revenus des producteurs, des transformateurs et des boulangers (Sambe & Tounkara, 2017).

I.4. Aspect nutritionnel du sorgho

❖ Composition du Sorgho

La composition chimique du sorgho est similaire à celle des autres céréales comme le blé et le maïs (Tableau 1). Sa teneur en amidon, qui est source d'énergie, représente 74% de la matière sèche. Elle est supérieure à celle du blé et équivalente à celle du maïs.

La teneur en protéines du sorgho est en moyenne de 11%, mais cette teneur peut varier entre 9 et 14 en fonction des variétés et des conditions environnementales ou culturales. Chez le sorgho environ 80% des protéines sont localisées dans l'albumen 16% dans le germe et 3% dans le

péricarpe (Serna-Saldivar, 1995) (annexe 2). Les prolamines ou kafirines, qui représentent plus de 70% des protéines totales, sont surtout présentes dans les corps protéiques. Les glutélines qui composent la matrice protéique peuvent représenter 35% des protéines totales du grain de sorgho. Les albumines et globulines restent prédominantes dans le germe (Serna-Saldivar, 1995). Sur le plan qualitatif, les protéines du sorgho sont déficientes en lysine comme c'est le cas pour la plupart des céréales. Le sorgho est une céréale sans gluten, facilement tolérée par les patients atteints de la maladie cœliaque. Les éléments minéraux majoritaires du sorgho sont le phosphore et le potassium. Ces éléments minéraux sont, pour la plupart, concentrés dans les couches périphériques du grain et dans le germe, et sont donc, en grande partie éliminés lors du décorticage ce qui rend le grain de sorgho décortiqué pauvre en vitamines (Chantereau *et al.*, 2013).

Tableau 1 : Composition chimique du sorgho, du blé et du maïs

% Composition Moyenne Chimique	Sorgho	Blé	Mais
Amidon	74	69	74
Protéines	11	12	9
Matières grasses	3,5	1,8	4,2
Sucres totaux	1,3	2,9	1,9

Sorgho : Développement International, 2020

❖ Digestibilité des protéines du sorgho

Le sorgho renferme des composantes telles que les vitamines A, B, D, E et K ; des minéraux tels que le phosphore, le potassium, le fer et le zinc (Hopkins *et al.*, 1998). Il est une source principale d'énergie, de protéines, de vitamines et de minéraux pour des milliers de personnes pauvres vivant dans des régions tropicales semi-arides dans le monde particulièrement en Afrique et en Asie (Duodu *et al.*, 2003 ; Chavan *et al.*, 2016). Cependant, les protéines du sorgho sont très peu digestibles après cuisson humide comparées à celles du maïs, du blé et du riz (Axtell *et al.*, 1981). Ceci réduit la valeur nutritionnelle du sorgho car en nutrition, un aliment ne remplit son rôle nutritif que si l'humain et l'animal le mangent et le digèrent (Maertens *et al.*, 2002). De plus, la valeur alimentaire d'un aliment ou d'un ingrédient alimentaire se caractérise par sa valeur nutritive ou concentration en différents éléments nutritifs et par son ingestibilité, (Atchade *et al.*, 2019) d'où l'importance d'améliorer la digestibilité des protéines du sorgho.

I.4.2.1. Facteurs influant sur la digestibilité des protéines du sorgho

Les facteurs affectants la digestibilité des protéines de sorgho peuvent être classés en deux groupes principaux : les facteurs exogènes (structure organisationnelle du grain, polyphénols, acide phytique, polysaccharides amidon et non amidon, les composants de la paroi cellulaire) et les facteurs endogènes (arrangement et forme des corps protéiques, réticulation disulfure et non disulfure, racémisation et formation d'iso peptides, hydrophobie de la kafirine et modification de la structure secondaire des protéines) (HAHN *et al.*, 1984 ; Duodu *et al.*, 2003). En plus de ces facteurs il existe des facteurs génétiques affectant la digestibilité des protéines du sorgho.

❖ Les facteurs exogènes

Les composants du péricarpe, le germe, les parois des cellules de l'endosperme et l'amidon gélatinisé sont des facteurs qui peuvent limiter la digestibilité des protéines de sorgho (Duodu *et al.*, 2002).

L'interaction des protéines avec les facteurs présents dans le péricarpe (polyphénols, polysaccharides non amylacés et phytate) le germe et dans les parois cellulaires de l'endosperme (amidon) peut réduire la digestibilité à deux niveaux : les produits issus de l'interaction chimique peuvent être indigestes ou bien le facteur interférent peut former une barrière physique et empêcher l'accès des protéases aux protéines (Duodu *et al.*, 2003)

Les polyphénols

Les polyphénols du sorgho sont constitués par les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tannins (HAHN *et al.*, 1984). Les tanins (condensés) sont des polyphénols, d'origine végétale. Ils possèdent la capacité de précipiter les protéines, formant des complexes résistants aux enzymes, que les plantes utilisent comme moyen de défense chimique contre les microbes pathogènes et les herbivores (Serna-Saldivar, 1995). L'interaction tannins-protéines a un effet négatif dans la digestibilité des protéines (Chibber *et al.*, 1980 ; Ba *et al.*, 2010) car rend la plupart des protéines insolubles (Duodu *et al.*, 2003). De plus, dans le sorgho une qualité protéique pauvre a été noté du fait du manque essentiel d'acide aminés comme la lysine, la tryptophane (Wu *et al.*, 2013).

L'acide phytique

L'acide phytique se localise généralement dans le germe (Hulse *et al.*, 1980) , il est également au son (péricarpe) des céréales (Garcia-Esteba *et al.*, 1999). C'est une molécule fortement

chargée avec six groupement phosphate donc un complexe chélateur insoluble avec des cations minéraux et des protéines (Ryden & Selvendran, 1993). Ceci à l'origine de la digestibilité réduite des protéines (Duodu *et al.*, 2003).

Les composants de la paroi cellulaire

Les granules d'amidon et les corps protéiques de l'endosperme du sorgho sont entourés de parois cellulaires (Shull *et al.*, 1990) qui isolés contiennent 46% en protéines associés (Glennie, 1984). L'association entre protéines et parois cellulaires du péricarpe ou de l'endosperme semble affecter négativement la digestibilité des protéines du sorgho en réduisant l'accès aux enzymes ou la formation de complexes non digestibles (Duodu *et al.*, 2003).

Durant le processus de cuisson du sorgho, l'amidon gélatinisé peut s'associer aux protéines et induire la réduction de l'accessibilité des enzymes protéolytiques aux corps protéiques (Duodu *et al.*, 2003).

❖ Facteurs endogènes

Arrangement et forme des corps protéiques

Les corps protéiques du sorgho, localisés dans l'endosperme sont naturellement de forme sphérique (figure 2). Cette dernière est associée à une digestibilité réduite des protéines lors de la cuisson. Il existe des protéines de stockage nommées les kafirines divisées en trois types (figure 2) : alpha, beta et gamma-kafirines (Shull *et al.*, 1991). Les alpha-kafirines représentant 80% des kafirines totaux localisés à l'intérieur des corps protéiques formant la coloration claire, les bêta et gamma-kafirines représentant respectivement 15 et 5% des kafirines formant la coloration sombre à l'extérieur des corps protéiques (Shull *et al.*, 1991). L'arrangement et la forme des corps protéiques fait que leur accessibilité est difficile par les enzymes réduisant ainsi la digestibilité des protéines (Oria *et al.*, 2000). Cependant, il existe des mutants de sorgho a corps protéiques invaginés, forme qui augmente la surface accessible aux protéines par les enzymes (Oria *et al.*, 2000). Cette invagination est à l'origine de la haute digestibilité des protéines.



Figure 2 : Corps protéique du sorgho non muté (A) ; corps protéique d'un mutant de sorgho hautement digestible (B) montrant les différentes localisations de alpha, bêta et gamma-kafirines ; invagination profonde de la structure du corps protéique de sorgho muté (Duodu *et al.*)

La réticulation des protéines

La réticulation isopeptidique et la réticulation disulfurée sont des réactions chimiques des protéines avec les acides aminés dans une même molécule ou dans une autre molécule entraînant la formation de dérivés d'acides aminés spéciaux (Erbersdobler, 1989). Ce sont deux types de réticulation qui entraînent une diminution de la digestibilité et de la valeur biologique des protéines alimentaires (Duodu *et al.*, 2003).

Racémisation et formation d'isopeptides

La racémisation est la procédure par laquelle les L-aminoacides sont convertis en la forme D (Liardon & Hurrell, 1983). Cette conversion est importante sur le plan nutritionnel parce que les acides aminés D sont absorbés plus lentement que la forme L correspondante et même s'ils sont digérés et absorbés, la plupart des isomères D des acides aminés essentiels ne sont pas utilisés par l'homme (Liardon & Hurrell, 1983). Ces réticulations isopeptidiques peuvent diminuer la digestibilité et la biodisponibilité des protéines (Duodu *et al.*, 2003).

Réticulation de disulfure

Il pourrait y avoir une relation potentielle entre la solubilité de la kafirine et la digestibilité des protéines, d'où une quantité significative de protéines non digestibles (Duodu *et al.*, 2003). La diminution de la solubilité de la kafirine à la cuisson est le résultat de la réticulation du disulfure (Duodu *et al.*, 2003).

Changement de la structure secondaire des protéines

Un léger changement dans la structure secondaire des protéines survenu lors de la cuisson passant d'une conformation α -hélicoïdale à une conformation intermoléculaire anti parallèle (Kretschmer, 1957) est un facteur endogène de digestibilité. L'énergie thermique est à l'origine de ce changement de structure entraînant la rupture des liaisons hydrogène ce qui stabilise la conformation de l'hélice (Duodu *et al.*, 2001).

❖ Facteurs génétiques

Les résultats de Winn *et al.* (2009) ont révélé que deux QTL (Quotien Trait Locus) sur le chromosome 1 sont associés à la digestibilité des protéines - un QTL (locus 1 du parent Haute Digestibilité) affecte défavorablement la digestibilité et un QTL (locus 2 du parent HD) à seulement 20 cM de distance affecte favorablement la digestibilité. Une analyse de contraste entre groupes génotypiques à ces deux locus montre qu'un niveau plus élevé de digestibilité des protéines peut être obtenu lorsque ce lien dans la répulsion est rompu et les allèles favorables sont autorisés à se recombiner (Winn *et al.*, 2009).

I.4.2.2. Amélioration de la digestibilité des protéines

Malgré son utilisation intensive le sorgho a une faible digestibilité des protéines. Une fois cuits seules 46% des protéines totales présentes dans le sorgho sont digestibles, contre 81% dans le blé, 73% dans le maïs et 66% dans le riz (Winn *et al.*, 2009). Une mutagenèse chimique sur des graines d'une lignée de sorgho faiblement digestible P721N (N pour endosperme normal) a abouti à la création d'un mutant de sorgho digestible à haute teneur en lysine nommé P721Q (Q pour endosperme opaque) (Mohan, 1975). Le mutant P721Q avait une augmentation de 25% de la digestibilité des protéines après cuisson en raison d'une augmentation de 36% de lysine dans les graines par rapport à P721N (Mohan, 1975; Wu *et al.*, 2013). En outre la mutation dans P721Q a conduit à un peptide plus stable qui a indirectement augmenté les kafirines riches en lysine qui seraient indirectement associées au phénotype hautement digestible (Wu *et al.*, 2013).

Pour augmenter leur valeur nutritionnelle quatre variétés sénégalaises de sorgho ont été croisées avec le mutant P721Q. L'un des croisements exploité dans cette étude (Faourou x P721Q) avait conduit au développement 18 lignées BC3F3 à protéines hautement digestibles après cuisson humide (Diatta, 2018). Parmi ces lignées 8 avait surpassé le parent donneur en termes de digestibilité qui pourrait être expliquée par la combinaison d'allèles favorables dans ces descendants connus sous le nom de ségrégation transgressive (Diatta, 2018).

Tableau 2 : Quelques caractéristiques des lignées de sorgho à protéines des grains hautement digestibles

Lignées	P. Digestibilité (%)	HPl (cm)	LPan (cm)
E8	91,1	113	23
E20	84	108,5	20,5
E143	79,4	136	27
E49	78,2	134,5	23
E113	77	134,5	24
E99	76,8	120	21,5
E40	70,3	142	23
E55	69,3	139	26,5
E1	68,8	129	23,5
E23	66,4	151,5	22,5
E45	64,4	156	25
E38	63,8	126	25,5
E3	62,6	130	25,5
E48	61,3	118,5	24
E111	60,6	129	24
E138	60,1	121,5	24,5
E2	60	139	25
E140	58,3	138,5	29

Les 18 lignées de sorgho à protéines des grains hautement digestibles (Diatta, 2018).

Dans ce tableau 50% ou plus des protéines sont digérées après cuisson pour toutes ces lignées. Il montre également quelques hauteurs des plantes avec la longueur de leurs panicules par manque de données.

CHAPITRE II- MATERIELS ET METHODES

II.1. Matériels

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de 20 génotypes de sorgho : 18 lignées BC₃F₆ à protéines des grains hautement digestibles après cuisson humide et leurs 2 parents (P721Q et Faourou) utilisés comme témoins. Ces lignées ont été développées à partir d'un croisement entre un mutant de sorgho à protéines des grains hautement digestibles (P721Q) et Faourou (ISRA-S-621B), une variété locale récemment homologuée par l'ISRA (Annexe 1) (Diatta, 2018).

Matériel et outils de culture

Pour l'installation et le bon fonctionnement des essais voici le matériel et les outils de culture utilisés. Un tracteur a labouré les espaces d'installation. La charrue a servi de faire le sarclage, deux personnes ont assuré son fonctionnement, l'un atèle le cheval l'autre maintient la charrue dans le sol. Pour le quadrillage de la parcelle suivant les écartements de semis un rayonneur a été utilisé après l'aspersion en eau pour que les angles soient visibles. Il permet de maintenir les écartements entre les poquets et les lignes. L'hilaire a permis de creuser les poquets pour le semis des grains de sorgho et pour faire le binage manuel après la poussée. Les sacs et bassines pour l'épandage des engrais, chaque personne prélève une quantité à l'aide d'une bassine ou d'un sac et parcourt les lignes, sur chaque poquet elle dépose quelques grains d'engrais.

Matériel de collecte de données

Pour faire une collecte de données des différents paramètres le logiciel FieldLab V2.9 a été installé sur tablette pour enregistrer toutes ces données. Une règle graduée de 5m a servi de mesurer la hauteur des plantes. Un pied à coulisse a permis de mesurer le diamètre des panicules et le mètre ruban pour la longueur des panicules. Pour peser la quantité de fertilisant et les récoltes une balance électronique a été utilisée. Des bouts de bois, des sacs et des bassines ont servi au battage et au vannage des récoltes et les sachets plastiques pour mettre les grains battus pour pouvoir les garder un certain temps. Le Numigral est un compteur de grains utilisé pour faire le compter les échantillons de 1000 grains afin d'en déterminer la masse. Pour déterminer la texture de l'endosperme des lames ont été utilisés pour couper les grains longitudinalement.

II.2. Méthodes

II.2.1. Site de l'expérimentation

Les travaux ont été menés pendant la saison des pluies 2019 de juillet à Novembre au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bambey ($14^{\circ}42'N$ et $16^{\circ}28'W$) et à Darou Pakathiar ($13^{\circ}93'N$ et $15^{\circ}83'W$) (Figure 2). Bambey est à 17m d'altitude et distant de 120 Km de Dakar avec un climat caractéristique de la zone soudano-sahélienne. La saison des pluies s'étend de juillet à mi-octobre avec une distribution pluviométrique monomodale dont le pic se situe entre Août et Septembre (Diatta, 2018 ; Diatta, 2016). Darou Pakathiar se situe à 45km au sud de Kaolack (TOURE, 2018). Il se caractérise par un climat soudanien caractérisé par une saison des pluies qui va de Juin à Octobre avec des précipitations moyennes qui varie de 600 à 900 mm.

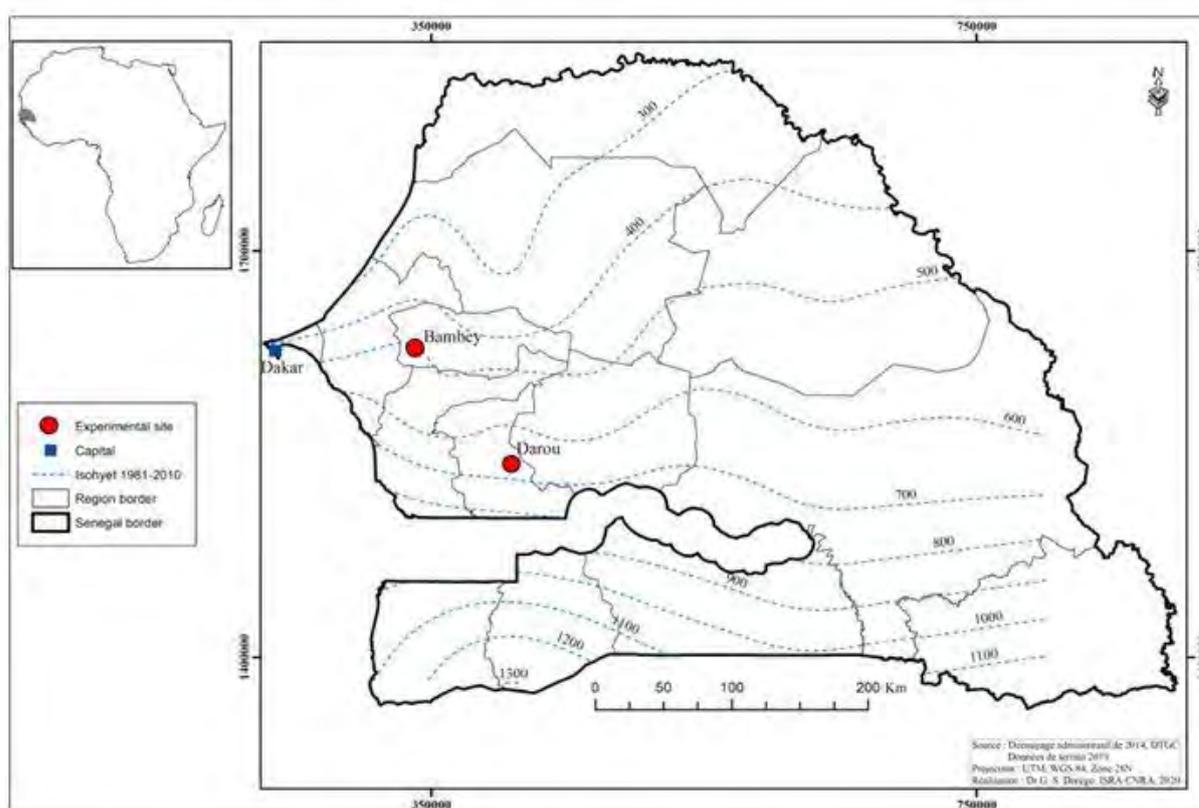


Figure 3 : localisation des deux sites Bambey et Darou

II.2.2. Condition d'expérimentation

L'essai a été installé à Bambey le 28 juillet 2019 puis à Darou le 07 Aout 2019. Les 20 géotypes ont été semés selon un dispositif expérimental 4x5 alpha lattice avec trois répétitions. Chaque essai était constitué de 60 parcelles. La parcelle élémentaire comprenait 4 lignes de 3,6 m de long semées à plat aux écartements de 0,8 m entre les lignes et 0,4 m entre les poquets sur

la ligne. Chaque ligne comprenait 10 poquets. Des allées de 0,8m de large entre les sous-blocs et 1,2 m de large entre les blocs étaient laissées (Annexe 3 et 4). Un épandage d'une dose d'engrais NPK (15-15-15) de 150 kg/ha a été fait 4 jours après semis. Les touffes de sorgho ont été démarriées à 3 plants par poquet un mois après semis. La première dose d'urée (50 kg/ha) a été épandue 2 jours après le démarriage et le deuxième épandage a eu lieu 15 jours après la première. Les binages à cheval sont séparés de 20 jours et le premier a eu lieu 20 jours après semis. Chaque binage à cheval est suivi d'un binage manuel.

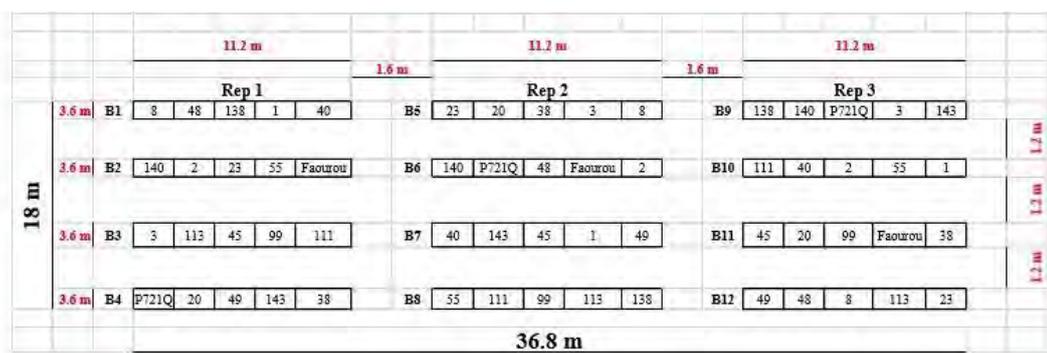


Figure 4 : Dispositif en 4x5 alpha lattice de Bambeï

II.2.3. Pluviométrie dans les sites de l'essai

Les données climatiques ont été recueillies au niveau du site météorologique. La pluviométrie est présentée sur la figure ci-dessous. Les pluies ont été réparties de Juin à Octobre à Darou comme à Bambeï (Figure 5). Une pluviométrie plus importante a été notée à Darou, comparée à Bambeï pendant la durée de l'essai. Les mois les plus pluvieux ont été Juillet (22,7 mm) et Aout (21,8 mm) pour Bambeï et Aout (27,7 mm) pour Darou. Les faibles pluies ont été observées entre septembre et Octobre dans les deux sites, donc qui sont les mois les moins pluvieux.

Pailleurs dans les années antérieures notamment de 2009 à 2015 on notait une évolution constante de la pluviométrie à presque 600 mm. C'est à partir de 2016 que les pluies ont baissées pour augmenter en 2017 jusqu'à 2019 avec 528,5 mm.

En 2019 on note à Darou une pluviométrie annuelle de 531,5 mm.

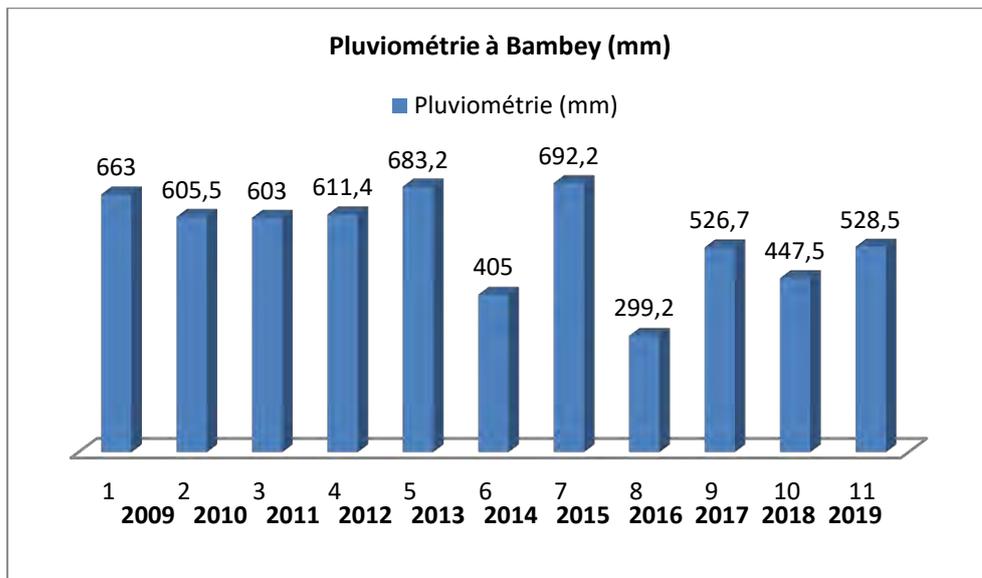


Figure 5 : Pluviométrie de Bambey des 10 dernières années

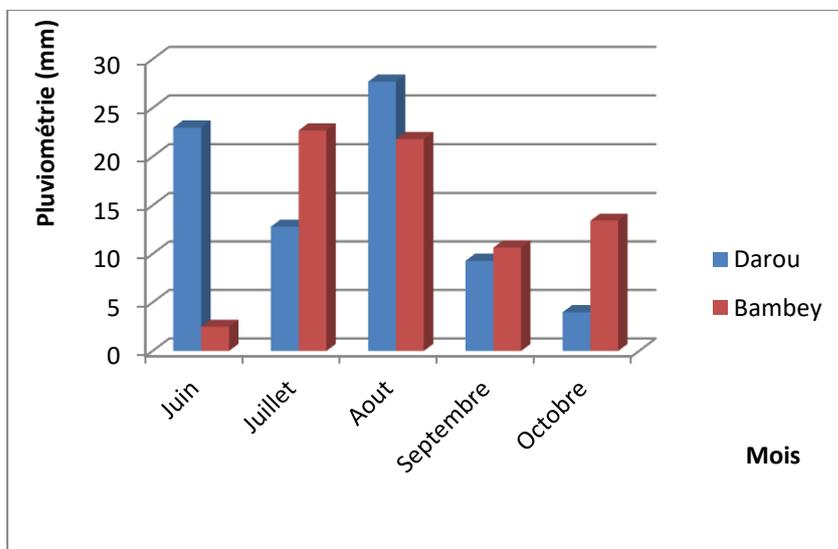


Figure 6 : Pluviométrie à Bambey et à Darou durant la période de l'essai

II.2.4. Méthode de collecte de données agro-morphologiques avant la récolte

Plusieurs paramètres ont été mesurés et les données ont été enregistrées à l'aide du logiciel FieldLab V2.9 (International Rice Research Institute) installé sur tablette. Cinq paramètres ont été mesurés pour 5 plants dans chaque parcelle, selon le descripteur sorgho édité par IBPGR/ICRISAT (1993) :

Les descripteurs agro morphologiques

- ✚ 50% Floraison, ou durée semi-floraison (DSFL). La floraison est effective lorsque les premiers stigmates apparaissent au sommet de la panicule. Une observation minutieuse est faite au niveau de la panicule (ou de la parcelle) : si la moitié de la panicule ou de la parcelle (50% des panicules de la parcelle) a fleuri, la date du jour est enregistrée. Entre la date du semis et cette date, on appelle cet intervalle la DSFL.
- ✚ La hauteur des plants a été mesurée du sol au sommet de la panicule à l'aide d'une règle graduée de 5m à la maturité physiologique. Elle est notée HPI. Elle donne des indications sur la vigueur, le stade de croissance de la plante et permet de classer les sites (Heady, 1957).
- ✚ La longueur de la panicule a été mesurée avec un ruban mètre de la base de la panicule (position de l'insertion de la première grappe) au sommet n'incluant pas la longueur du pédoncule.
- ✚ Le diamètre de la panicule : la mesure a été prise au milieu de la panicule (largeur de la panicule) à l'aide d'un pied à coulisse.

Les descripteurs phytopathologiques

- ✚ Le score moisissure est un descripteur phytopathologique. Il a été fait sur la base de l'échelle proposée par Thakur *et al.* (2007) (Tableau 3). Il s'agit des scores des attaques de moisissures sur les panicules ou grains (Image 1), au cas échéant. Les correspondances aux différents scores sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Echelle de notation de la sévérité de la maladie à la maturité physiologique (Thakur *et al.* 2007)

Notation	Echelle	Classification
1	Pas de grains attaqués sur la panicule	Très résistant
2	1 < % de grains sur la panicule < 10%	Résistant
3	11 < % de grains attaqués sur la panicule < à 25%	Moyennement résistant
4	26 < % de grains attaqués sur la panicule < 50 %	Sévère
5	50 < à % de grains attaqués sur la panicule	Très sévère

Le score moisissure a été calculé selon la formule suivante.

$$\text{✚ Sc. Mois} = \frac{(1 \cdot \text{NP}) + (2 \cdot \text{NP}) + (3 \cdot \text{NP}) + (4 \cdot \text{NP}) + (5 \cdot \text{NP})}{\text{NT} \cdot 5} * 100$$

avec NP = Nombre de plantes observés selon le score et

NT = Nombre total de plantes attaquées dans la parcelle

II.2.5. Collecte de données agro-morphologiques post-récolte

Après récolte, les panicules ont été séchées pendant 5 à 6 jours dans une serre puis pesées individuellement. Les graines ont été récoltées après un battage, suivi d'un vannage manuel (image 3). Le vannage est une méthode traditionnelle simple consistant à éliminer les impuretés légères sous l'action du vent (Chantereau *et al.*, 2013).

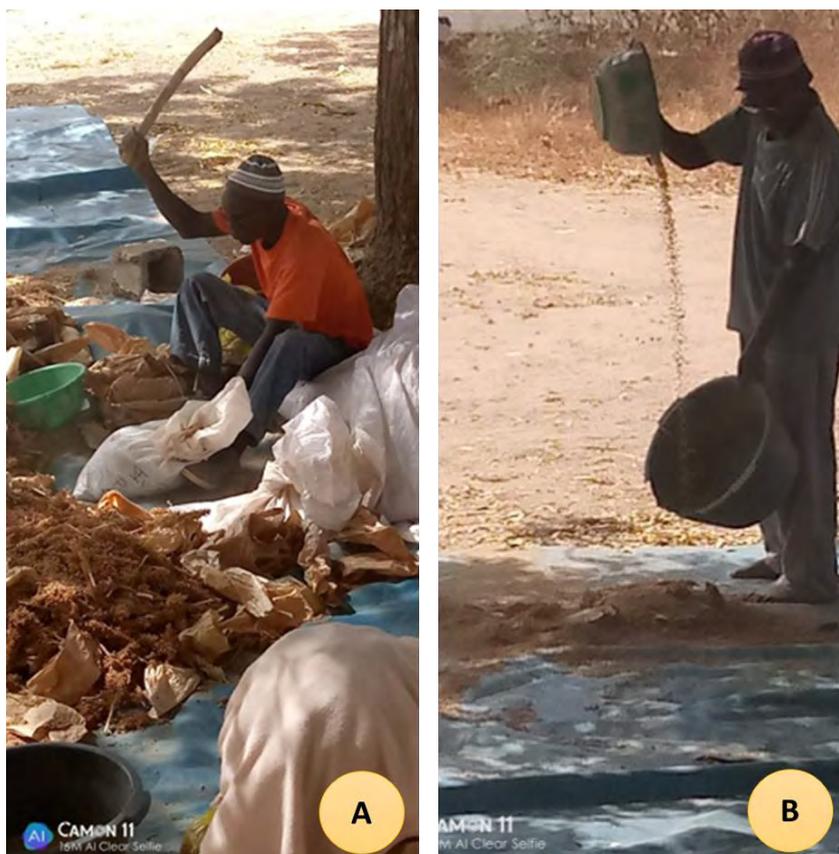


Image 2 : Battage (A) et vannage (B) manuels

Après la récolte, les données collectées ont porté sur six paramètres :

- ✚ Nombre de poquets récoltés (NPR) : dans chaque parcelle le nombre de poquets récoltés est pris, sur chaque pied son poquet est pris en compte.
- ✚ Nombre de panicules récoltées (NPaR) : le décompte du nombre de panicules récoltées est fait au niveau de chaque parcelle.
- ✚ Poids des panicules récoltées (PPa) : Après la récolte et le séchage pour procéder à la pesée, le nombre de panicule autofécondé est pris pour pouvoir tarer les sachets mais aussi

le sac dans le lequel se trouvaient les panicules. Ceci pour avoir le poids net des panicules récoltés.

- ✚ Poids des grains des panicules récoltées (PGr) par parcelle : Il s'agit de la masse des grains prise après battage des panicules et vannage des grains ; elle permet d'apprécier le rendement en grains des lignées en étude.
- ✚ Poids des mille grains (PMG) : Le poids de mille grains donne une indication sur le mode d'élaboration du rendement et des problèmes que la plante a pu subir durant son développement. Le prélèvement des mille grains s'est fait à l'aide d'un compteur de grains (Numigral) et les pesées grâce à une balance électronique de précision 0,3g ;
- ✚ La texture de l'endosperme : Ce paramètre a été évalué après battage sur un échantillon de 10 grains choisis de manière aléatoire dans chaque parcelle. A l'aide d'une lame (Image 3), une coupe longitudinale de chaque grain a été faite car l'observation porte sur la face interne du grain. Elle représente la proportion de la partie cornée et de la partie farineuse de l'endosperme. Elle donne une indication sur la dureté, la susceptibilité à la brisure du grain, la qualité de la farine et à la pénétration des pathogènes. L'échelle de notation (Image 3) est la suivante : 1 = complètement vitreux, 2 = presque vitreux ; 3 = intermédiaire ; 4 = presque farineux ; 5 = complètement farineux. La texture retenue pour la parcelle est la moyenne des notations de l'échantillon.

Un classement a été fait selon le descripteur sorgho édité par IBPGR/ICRISAT (1993) :

1 : Complètement vitreux

2 : Presque vitreux

3 : Intermédiaire

4 : Presque farineux

5 : Complètement farineux

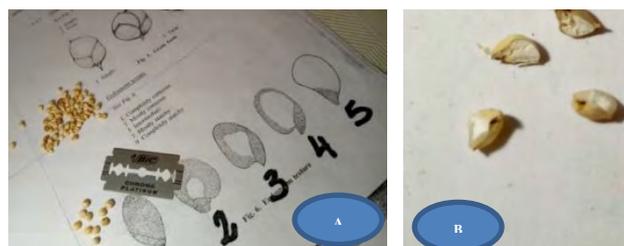


Image 3 : Dispositif d'observation de la texture de l'endosperme chez le sorgho

- ✚ Le Rendement potentiel en grains (RDT)

Le rendement en grains est la masse de grains produite sur une superficie de 1ha. Ainsi, le nombre de poquets récoltés (NPR) compté lors de la récolte a permis de calculer la superficie récoltée. Pour chaque parcelle, le rendement a été calculé à partir du poids grains sur le nombre

de poquets récoltés dans la parcelle et le résultat multiplié par le nombre de poquets à l'hectare et le tout divisé par 1000 pour avoir l'unité en kg/ha.

$$RDT = \frac{\frac{PGr}{NPR} * NP}{1000}$$

$$avec NP = \left(\frac{100}{0.4}\right) * \left(\frac{100}{0.8}\right)$$

0.4 : distance entre les poquets ; 0.8 : distance entre les lignes de la parcelle ; 100x100 pour avoir les valeurs à l'hectare.

PGr : Poids Grains en grammes ; NPR : Nombre de Poquets Récoltés ; NP : Nombre de poquets à l'hectare

✚ Héritabilité

L'héritabilité mesure la part de variabilité d'un trait phénotypique dans une population donnée. Elle est due aux différences génétiques entre les individus composant cette population. L'héritabilité au sens large est égale à la variance du trait attribuable aux différences génétiques dans la population divisée par la variance totale du trait dans la population. L'héritabilité est habituellement exprimée en pourcentage. Elle est par construction comprise entre 0 et 1, c'est-à-dire entre 0 % et 100%.

$$H^2 = \frac{V^2_g}{V^2_p} \quad Avec \quad V^2_p = V^2_g + \frac{V^2_{gs}}{s} + \frac{V^2_e}{rs} \quad V^2_g = \frac{MCg - MCe}{rs} \quad V^2_e = MCe$$

II.2.6. Traitement et analyse de données

Après les prises de mesures, les données furent transférées sur Excel suivi d'un calcul des moyennes. Le logiciel R version 2.3.4 a été utilisé pour faire l'analyse de variance (ANOVA) ainsi que le test de Tuckey pour la comparaison des moyennes. Les graphes format matrix plot permettant de comparer les variables deux à deux dans un même site ou de faire une combinaison des sites. Ils ont été générés avec le logiciel Minitab17. Les histogrammes et courbes pour les paramètres pluviométriques ont été obtenus avec Microsoft Excel.

CHAPITRE III- RESULTATS ET DISCUSSION

III.1.1. Résultats de l'analyse de variance des caractères mesurés des lignées dans les deux sites

L'analyse de variance (ANOVA) montre que pour l'ensemble des variables étudiées sur les lignées, l'effet du facteur site est significatif pour l'ensemble des variables étudiées à l'exception du poids de mille grains. Pour le facteur génotype n'est significatif au niveau des lignées que pour la hauteur des plants, le diamètre des panicules et le rendement grains au seuil $P \leq 0,01$. Une interaction génotype x site a été significative entre les lignées au seuil $P \leq 0,01$ pour les variables HPL, Sc.Mois et Rdt.

Tableau 4 : Variabilité des lignées pour les différents caractères dans les deux sites : Moyenne carrée des caractères

Source	DDL	HPL	LPan	DPan	PMG	TEnd	Sc.Mois	Rdt
Site	1	2234,3***	647,7***	1,2*	8,4	1,48***	0,07*	40357128***
Rep	2	97,4	0,5	0,4	22,6	0,02	0,03	519104
Block (Rep x site)	20	190,6.	3,2	0,5.	4,6	0,05	0,01	822104**
Génotypes	19	345,6**	3,4	0,5*	16,4	0,13	0,02	842858**
Site x Génotypes	19	349,6**	3,9.	0,3	12,1	0,12	0,06***	975839**
Erreur Résiduelles	43	120,7	2,4	0,3	13	0,11	0,02	322220

„***“= significatif à 0,001, „**“= significatif à 0,01, „*“ = significatif à 0,05

DDL : degré de liberté ; HPL : hauteur plante ; LPan : longueur panicule ; DPan : diamètre panicule ; PMG : poids mille graines ; TEnd : texture endosperme ; Sc.Mois : score moisissure ; Rdt : rendement

A Bambey, le facteur génotype n'est statistiquement significatif ($P = 0,05$) que pour la hauteur des plants et le diamètre des panicules (tableau 7) ; tandis qu'aucune différence significative n'est observée entre les génotypes pour les autres variables étudiées (Annexe 1).

A Darou une différence hautement significative a été observée pour le facteur génotypes pour les variables HPL, Sc.Mois ($P = 0.001$), RDT ($P = 1\%$) et DPAN ($P = 5\%$). Cependant aucune différence statistiquement significative n'a été notée entre les génotypes pour la texture de l'endosperme, le poids des mille graines et la longueur des panicules (Annexe 2).

III.1.2. Variabilité et performance des lignées dans les deux sites

Les résultats sur les différents paramètres mesurés figurent sur le tableau 4.

Le tableau montre que les valeurs de la moyenne, et du Coefficient de variation (Cv) sont plus élevés à Bambey qu'à Darou pour les valeurs de HPL et DPan. Pour les paramètres LPan, TEnd, sc.Mois et Rdt, les moyennes sont plus faibles à Bambey alors que les Cv sont plus importants à Darou. A Darou le minimum pour le rendement est de 1312,5 Kg / ha supérieur à celui de Bambey (938 Kg / ha). A Darou les rendements vont jusqu'à 4530,33 Kg/ha alors qu'à Bambey ils se limitent à 2223 Kg/ha.

Tableau 5 : Variabilité au sein des lignées

Variables	Bambey				Darou				Analyse Combinée			
	Var	Moy	DevSt	CV	Var	Moy	DevSt	CV	Var	Moy	DevSt	CV
HPL	133,7-176	154,7	7,65	8,56	117,06 - 159,9	145,69	4,79	5,5 6	141,51-166,47	152,29	5,17	7,61
LPan	22,02-27,5	24,7	1,03	7,25	28,53 - 30,82	29,78	0,53	2,9 9	25,22 – 28,74	27,13	0,68	5,65
DPan	5,09-6,76	5,8	0,35	10,44	5,17 - 6,18	5,62	0,18	5,5 5	5,17 – 6,39	5,75	0,24	9,24
TEnd	3,8-4,75	4,2	0,18	7,86	4,2 - 4,9	4,44	0,16	6,2 4	4,03 - 4,65	4,3	0,15	7,68
Sc.Mois	1-1,33	1,0	0,07	12,9	1,0 - 2,0	1,09	0,06	8,8 7	1 – 1,25	1,04	0,05	11,82
Rdt	938-2223	1462,8	406,08	67,67	1312,5-4530,08	2082,33	359,25	29, 22	789,91 – 2443,43	1475,67	250,9 9	38,46

Var = Variation, Moy = Moyenne, DevSt = Déviation standard, CV = *Coefficient de variation*

III.1.3. Performance des variétés pour les variables étudiées

Tableau 6 : Performance des lignées pour les variables étudiées dans les deux sites

	Bambey						Darou						Analyse Combinée					
	HPI	LPan	DPan	TEnd	ScMois	Rdt	HPI	LPan	DPan	TEnd	Sc.Mois	Rdt	HPI	LPan	DPan	TEnd	ScMois	Rdt
E1	158,9 ab	25,1 a	5,5 a	4 A	1,0 a	1152, 3	151,2 ab	29,9 a	5,6 ab	4,5 a	1,0 B	1803,2 b	155,0 a	27,5 a	5,6 ab	4,2 a	1 a	1152,3
E111	142,3a b	24,8a	5,8a	4,2a	1,0a	1060, 3	142,6 abc	29,0 a	5,7 ab	4,4 a	1,1 b	1642,2 b	142,5 a	27 a	5,7 ab	4,3 a	1,0a	1060,3
E113	167ab	27,5a	6,2a	4,8a	1,0a	1867, 3	141,5ab c	29,2a	5,4 ab	4,4 a	1,0 b	1573,2 b	153,9 a	28,0 a	5,8 ab	4,6 a	1a	1824,1
E138	172,6a b	27,3a	6,5a	4,2a	1,0a	1299, 7	147,8 ab	28,9 a	5,7 ab	4,4 a	1,0 b	1657,6 b	160,2 a	28,1 a	6,1 ab	4,3 a	1a	1299,7
E140	160,9	24,5a	5,8a	3,8a	1,0a	1026, 9	138,5 abc	29,9 a	5,6 ab	4,7 a	1,0 b	1413,0 b	156,3 a	26 a	5,8 ab	4,0 a	1a	789,9
E143	149,7	23,5a	5,7a	4,0a	1,0a	1405, 1	117,0 c	29,7 a	5,6 ab	4,5 a	2,0 a	2210,8 b	141,5 a	25,2 a	5,7 ab	4,1 a	1,2a	928,8
E2	151,7	24,4a	6,5a	3,8a	1,0a	938	124,2 bc	29,0 a	5,4 ab	4,9 a	1,2 b	1347,2 b	144,9 a	25,5 a	6,3 ab	4,1 a	1,1a	835,7
E20	153,5	23,2a	5,2a	4,3a	1,0a	1391, 8	153,6 ab	28,5 a	5,2 b	4,7 a	1,2 b	2006,2 b	153,5 a	25,8 a	5,2 b	4,5 a	1,1a	1391,8
E23	162,3	24,8a	6,2a	3,8a	1,0a	1699, 7	147,3 ab	30,8 a	5,7 ab	4,4 a	1,0 b	2084,3 b	154,8 a	27,8 a	6,0 ab	4,1 a	1a	1699,7
E3	169,9	24,8a	6,0a	4,2a	1,0a	1816, 9	149,2 ab	30,3 a	6,2 a	4,2 a	1,1 b	2756,9 ab	159,5 a	27,5 a	6,1 ab	4,2 a	1,0a	1816,9
E38	176,0a	27,3a	6,8a	4,3a	1,0a	1959, 5	146,5 ab	30,3 a	5,8 ab	4,2 a	1,1 b	2505,7 ab	166,5 a	28,7 a	6,4 a	4,2 a	1,0a	1907,6
E40	139,6	25,0a	5,5a	4,0a	1,0a	1073, 9	155,2 ab	29,9 a	5,4 ab	4,6 a	1,1 b	1649,2 b	147,4 a	27,5a	5,5 ab	4,3 a	1,0a	1073,9

E45	145,3	23,3a	5,5a	4,3a	1,0a	2222,8	155,5 ab	29,3 a	5,5 ab	4,2 a	1,2 b	4530,1 a	149,4 a	25,7 a	5,5 ab	4,2 a	1,0a	2443,4
E48	152,7	24,5a	5,7a	4,06a	1,0a	1757,9	159,9 a	30,4 a	6,1 ab	4,3 a	1,0 b	3005,4 ab	156,3 a	27,4a	6 ab	4,2 a	1a	1757,9
E49	156,4	25,0a	6,2a	4a	1,0a	1504,9	145,1 ab	29,1 a	5,3 ab	4,3 a	1,0 b	1757,2 b	153,4 a	27,7 a	5,8 ab	4,3 a	1a	1731,3
E55	153,7	26,2a	6,2a	4,3a	1,0a	1164	159,5 a	30,0 a	6,0 ab	4,3 a	1,1 b	1911,7 b	156,7 a	28,7 a	6,1 ab	4,4 a	1,0a	1354,4
E8	145,8	23,5a	5,4a	4,3a	1,0a	1022	128,3 bc	30,4 a	5,2 b	4,2 a	1,0 b	1312,5 b	142,1 a	25,9 a	5,3 ab	4,3 a	1a	986,8
E99	145,4	24,4a	5,4a	4,4a	1,4a	1943,8	144,4 ab	29,5 a	5,5 ab	4,7 a	1,0 b	2470,5 ab	144,9 a	26,9 a	5,4 ab	4,5 a	1,2 a	1943,8
Faourou	157,9	23,4a	5,5a	4,2a	1,0a	1368,6	150,5 ab	30,4 a	5,4 ab	4,3 a	1,0 b	2152,6 b	154,2 a	26,9 a	5,4 ab	4,3 a	1a	1368,6
P721Q	133,7b	22,0a	5,1a	4,5a	1,0a	1493,1	152,1 ab	30,5 a	5,9 ab	4,5 a	1,0 b	2427,9 ab	144,6 a	27,2 a	5,6 ab	4,6 a	1a	1614,7
HSD	42	5,7	1,9	1	0,4	1758	20,6	2,9	1	0,9	0,31	1990,1	27,7	3,63	1,3	0,68	0,29	1345,3
Héritabilité	0,14	0,18	0,43	0,11	-0,02	-0,04	0,2	0,03	0,13	0,04	0,44	0,22	0,16	0,07	0,17	0,04	0,04	0,14

La mesure de la hauteur des plantes à Bambey varie de 139,6 cm à 176,0 cm alors qu'à Darou elle varie de 117,0 cm à 159,9 cm, avec des valeurs HSD respectivement de 42 et de 20,6 et d'héritabilité de 0,14 et de 0,2. Le diamètre des panicules (DPan) aussi diffère entre les lignées d'un site à l'autre et dans un même site. A Darou il varie de 5,2 cm à 6,4cm avec une valeur HSD de 1 et une héritabilité de 0,13, alors qu'à Bambey il varie de 5,1 cm à 6,5 (HSD=1,9 & H=0,43). La longueur des panicules à varie de 23,2 cm à 27,5 cm à Bambey avec une valeur HSD de 5,7 et une héritabilité H de 0,18 alors qu'à Darou elle varie de 28,5 cm à 30,4 cm (HSD=2,9 & H=0,03). La texture de l'endosperme (Tend) varie de 3,8 à 4,4 à Bambey (HSD=1 et H=0,11) alors qu'à Darou elle varie 4,2 à 4,9 de (HSD=0,9 et H=0,04). Le score moisissure (Sc.mois) et le rendement (Rdt) présentent statistiquement des différences d'un site à l'autre et entre les génotypes dans un même site. A Bambey le Sc.mois est de 1 alors qu'à Darou il varie de 1 à 2, donc les lignées résistantes aux moisissures. Le rendement à Bambey ne présente pas différence entre les génotypes alors qu'à Darou il varie de 1312,5 kg/ha à 4350,1 kg/ha (HSD=1990,1 et H=0,22). Le poids de milles grains (PMG) ne présente pas de différence d'un site à l'autre et même entre les lignées dans un site donné.

Les 10 meilleures lignées à Bambey sont les suivantes E45, E38, E99, E113, E3, E48, E23, E49, E143 et E20 avec des rendements compris entre 1391,83 et 2223,83 kg/ha. Il n'existe aucune différence significative entre les lignées pour le rendement à Bambey.

A Darou, les 10 lignées les plus performantes sont E45 (4530,08 kg/ha), E48 (3005,45 kg/ha), E3 (2756,94 kg/ha), E38 (2505,73 kg/ha), E143 (2210,76 kg/ha), E99 (2470,48 kg/ha), E23 (2084,34 kg/ha), E20 (2006,17 kg/ha), E55 (1911,7 kg/ha) et E1 (1803,2 kg/ha). Parmi les meilleures lignées de Bambey, six se révèlent aussi performantes à Darou (Tableau 5).

A Bambey les hauteurs des plants

III.1.4. Comparaison de la performance des lignées pour le rendement dans les deux sites

La figure 5 représente le diagramme de comparaison des rendements en grains des lignées de sorgho dans les deux sites. Les génotypes E45, E38, E99 et E23 ont un rendement élevé dans les deux sites. A Bambey E113, E49 et E138 ont les meilleurs rendements alors qu'à Darou, E48, E3, P721Q et Faourou ont les rendements les plus importants. A Darou le plus faible rendement est de 1238Kg/ha pour le génotype E140 alors qu'à Bambey le génotype E55 a le plus faible rendement avec 416,36 Kg/ha. Le génotype E45 a le rendement le plus élevé à Darou (4530kg/ha) alors qu'à Bambey E113 a le rendement le plus élevé (2161kg/ha).

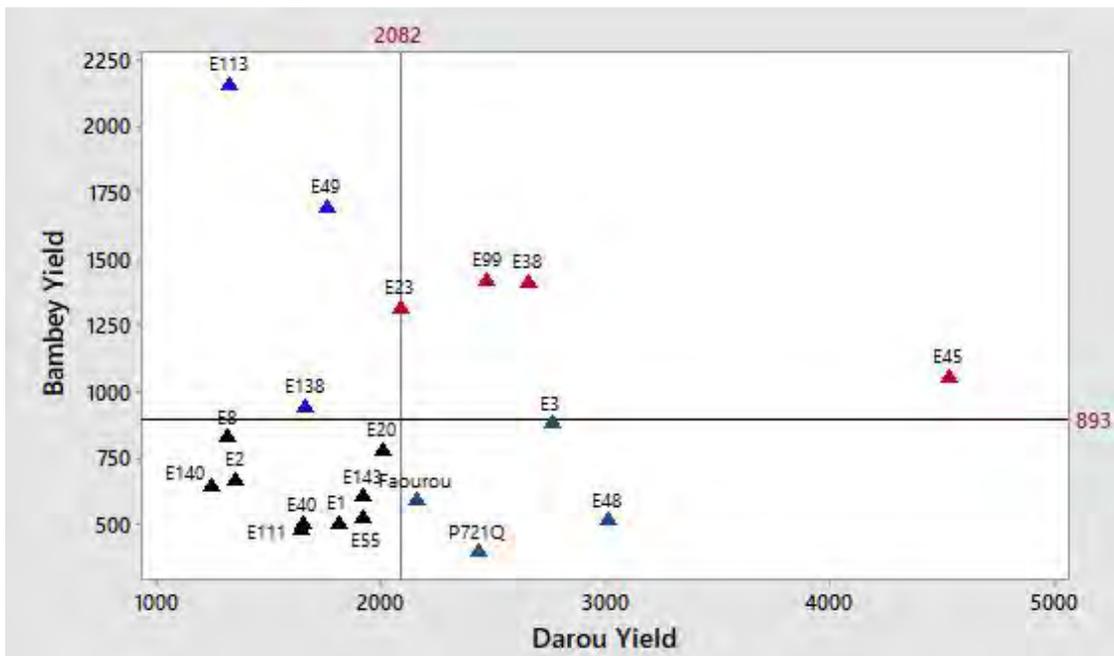


Figure 7 : Diagramme comparatifs du rendement en grains des lignées de sorgho à PHD dans les deux sites

III.1.5. Comparaison de la performance des lignées pour le rendement en grains en fonction du score moisissure à Bambey

Le score moisissure à Bambey varie de 1 à 1,3. A Bambey seul le génotype E99 présente un score 1,5. Donc tous les génotypes sont très résistants aux moisissures alors qu'E99 est juste résistante aux moisissures.

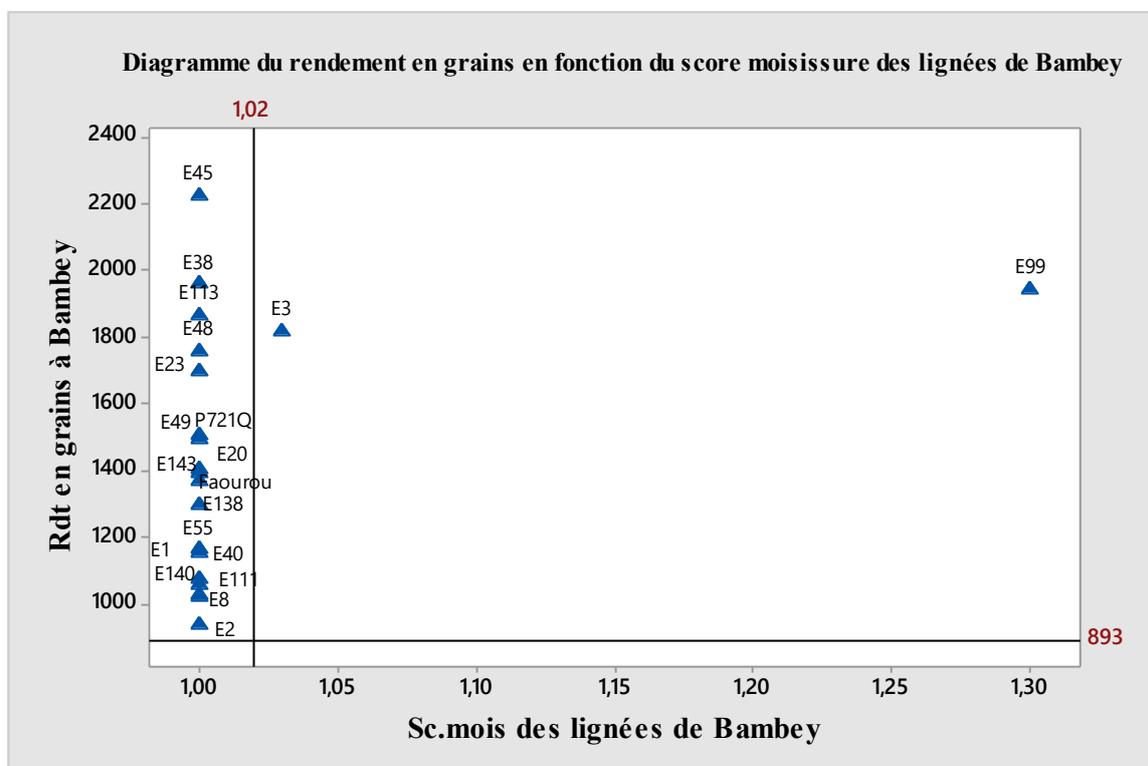


Figure 8 : Performances des lignées pour le rendement en grain en fonction du score moisissure à Bambey

III.1.6. Comparaison de la performance des lignées pour le rendement et la résistance aux moisissures des grains à Darou Pakathiar

La figure 6 montre que toutes les lignées ont le même score (1) sauf E2 [sensibles aux moisissures avec un rendement élevé (supérieur à 2000kg/ha)]. E111, E140, E1, E113, E23, E143, E20 sont très résistantes aux moisissures et ont des rendements compris entre 2500kg/ha et 4500kg/ha.

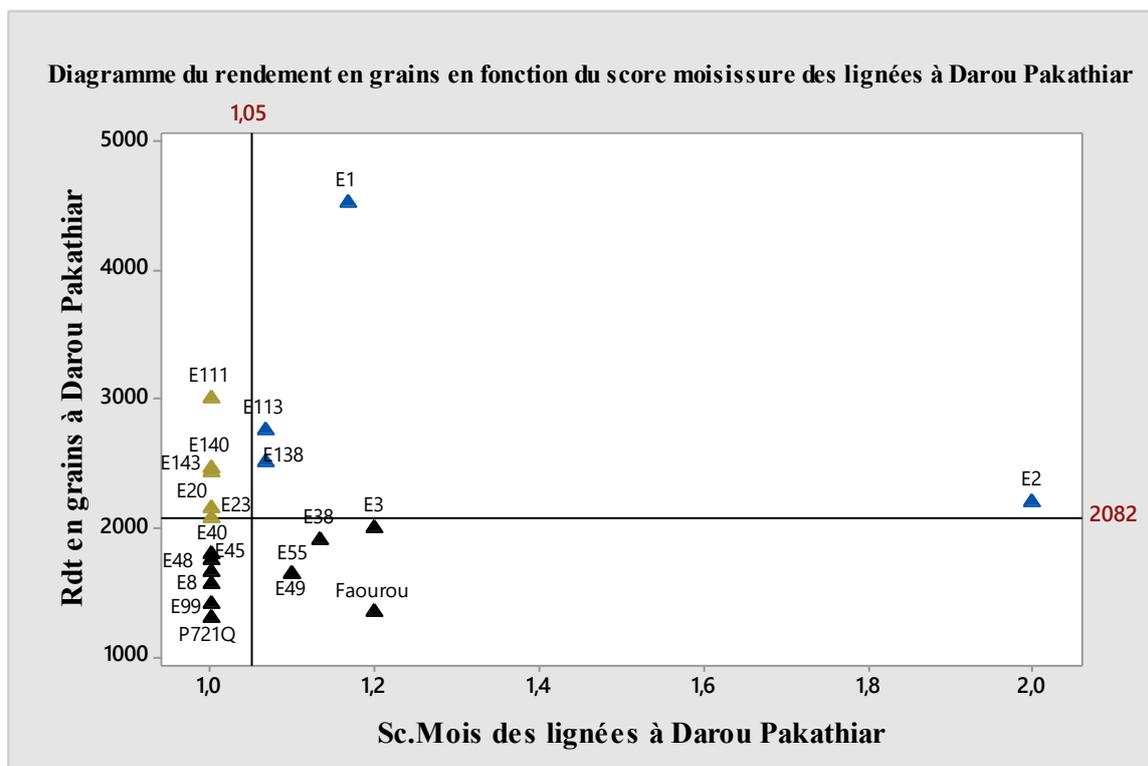


Figure 9 : Diagramme du Score moisissure des lignées sur le rendement à Darou

III.1.7. Comparaison de données combinées du score moisissure en fonction du rendement dans les deux sites

La figure ci-dessous représente la comparaison de données combinées du score moisissure en fonction du rendement dans les deux sites. Les entrées E45, E99, E38, E3, E49, E113, E48, E23 en plus de leurs rendements supérieurs à 1500 kg/ha ils ont un score moisissure d'environ égale à 1.

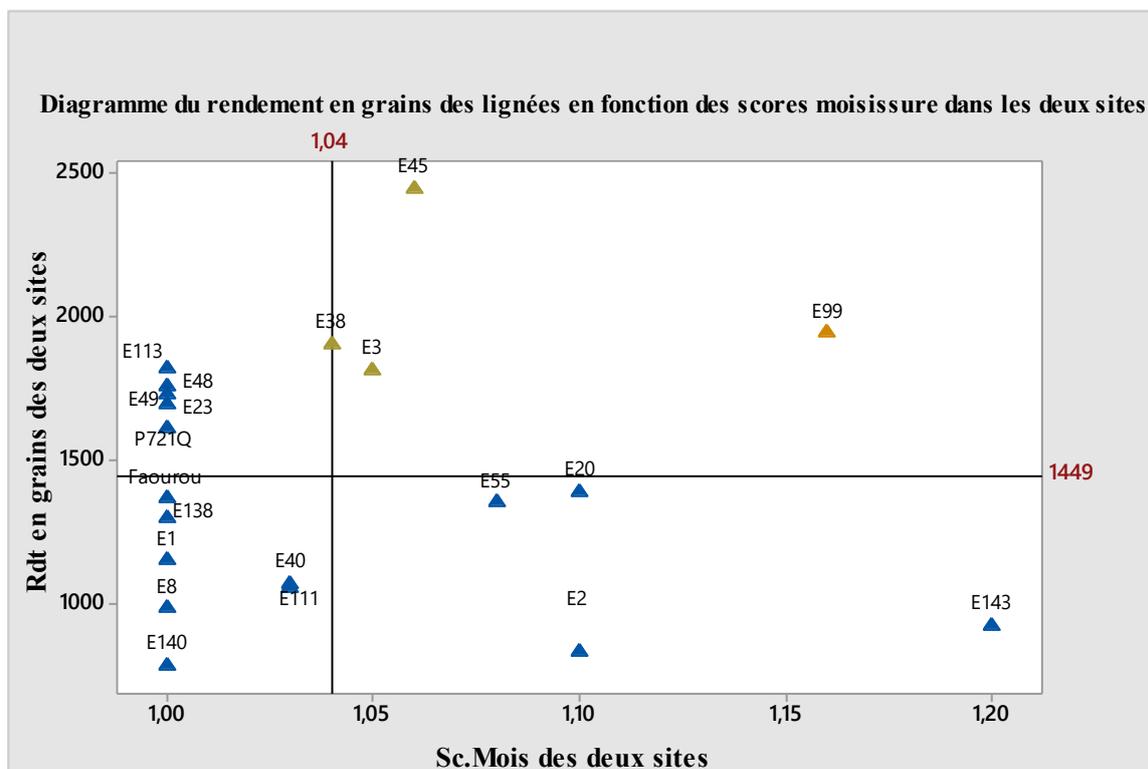


Figure 10 : Diagramme de comparaison du score moisissure en fonction du rendement combiné des deux sites

III.1.8. Analyse sur les corrélations

- ✓ Analyse sur les corrélations entre les variables à Bambey

Une corrélation positive et significative ($P=0,001$) est observée entre la HPL et les variables LPan, DPan, NPR, NPaR, PPa, PGr, et Rdt. En effet le Sc.Mois est corrélé positivement avec le Rdt de même la TEnd et le Rdt. (Annexe 7).

- ✓ Analyse sur les corrélations entre les variables à Darou

Cette figure montre que HPI est corrélée positivement à LPan, DPan, et PGR. Ces derniers sont corrélés positivement au rendement avec une significativité de $P=0,01$. Le Rdt est aussi corrélé positivement au Sc.Mois ($r= 0,13$) (Annexe 8).

- ✓ Analyse de corrélation des variables pour les deux sites

La figure montre qu'il y'a des corrélations entre les variables à différents niveaux. En effet la corrélation est positive et significative ($P=0,001$) pour les variables DPan, PGr, Rdt ($P=0,1$) et HPI. Elle est négative entre HPI et Sc.Mois. Alors que entre Tend et Sc.Mois $r=0,15$ corrélation positive. Pour le Rdt et les autres variables la corrélation est positive et significative sauf les entre les variables NPR, NPaR respectivement $-0,40$ et $-0,24$.

Tableau 7 : Analyse de la corrélation entre les variables pour les données combinées des deux sites

	HPI	LPan	DPan	TEnd	Sc.mois	Rdt
HPI						
LPan	0,29*					
DPan	0,62***	0,18.				
TEnd	-0,23*	0,27**	-0,16.			
Sc.Mois	-0,24**	0,18*	-	0,15		
Rdt	0,15.	0,36**	0,47***	0,27**	0,20*	

III.1. DISCUSSION

Cette étude a montré une différence statistiquement significative des performances des génotypes dans les deux sites ainsi qu'une interaction significative ($P \leq 5\%$) entre génotypes et sites pour les variables HPL, Sc.Mois et RDT. Ceci est dû au fait que ce sont deux zones agro écologiques avec des environnements différents : Bambey présente un climat soudano-sahélien marqué par une longue saison sèche de 8 à 9 mois et une saison des pluies de 3 à 4 mois allant de juillet à octobre. Cette étude antérieure de Diatta, (2016) confirme que Darou a un climat soudanien allant de juin à octobre (Diatta, 2016) différent de celui de Bambey. Une différence statistiquement significative ($P \leq 5\%$) est notée entre les sites Darou et Bambey pour les variables longueur des panicules (LPAN), diamètre panicules (DPAN), hauteur des plants (HPL), texture de l'endosperme (Tend), score moisissures (Sc.Mois) et rendement (RDT). Ces différences pourraient être expliquées par l'irrégularité de la pluviométrie notée dans les deux sites, ainsi les caractères quantitatifs mesurés sont aussi liés aux conditions écologiques des zones de culture.

A Bambey il a été noté des attaques biotiques sur les plants en période post-florale. Cette attaque s'est manifestée par un dessèchement des plants (annexe 5) durant le remplissage des grains ; ce qui est sans doute à l'origine des faibles rendements observés au niveau du site de Bambey. Des études antérieures ont montré que les faibles rendements observés chez le sorgho peuvent être dus la présence fréquente de maladies (Ndiaye *et al.*, 2019) ainsi qu'à la nature sableuse des sols qui sont les plus dominants et ayant une très faible capacité de rétention en eau (90 à 100 mm.m-1) (Vachaud *et al.*, 1978 ; Imbernon, 1981). En effet, le rendement est un trait complexe qui est influencé par un certain nombre de facteurs associés, directement ou indirectement, à l'environnement ; ce qui rend difficile la sélection de sorghos stables à haut rendement pour divers environnements (Ndiaye *et al.*, 2018). Ces différences pourraient également être dues à d'autres facteurs climatiques ou environnementaux (Température, ensoleillement). Ces facteurs peuvent être aussi pris en compte pour les prochaines études sur une évaluation des lignées de sorgho à protéines des grains hautement digestibles.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans la présente étude, la différence en rendement grain observée entre les géotypes est principalement due à une différence entre les lignées elles-mêmes. Les environnements et l'interaction géotype-environnement jouent également un rôle important sur l'ensemble du développement de la plante. L'interaction géotype-environnement observée est due principalement à une différence de la distribution de la pluviométrie durant l'essai mais aussi à un stress biotique post-floral à Bambey. Il existe cependant une dizaine de lignées qui présentent une bonne performance et une stabilité dans les deux sites pour le rendement potentiel qui peut aller jusqu'à 4t/ha. Ainsi, ces lignées résistantes aux moisissures, à protéines des grains hautement digestibles et à haut rendement bien adaptées dans le bassin arachidier pourraient aussi être testées dans d'autres zones notamment au sud du pays, à la zone septentrionale et sur le périmètre de la vallée du fleuve Sénégal. Des recherches pourraient également se poursuivre dans le cadre de l'amélioration de la digestibilité d'autres variétés de sorgho homologuées par l'ISRA. Des essais de cultures dans différentes zones agro écologiques du Sénégal et en Afrique pourraient aussi être envisagés pour contribuer à la lutte contre la malnutrition et à la sécurité alimentaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroalimentaire Sénégal (2016) – Des variétés de sorgho à multiples usages. *Agroalimentaire Sénégal*.
- ANSD (2016) – Note d'analyse du commerce extérieur Edition 2016 NACE_2016.pdf. *Agence Nationale de la statistique et de la démographie*.
- ANSD (2019) – Bulletin mensuel de la statistique économique d'octobre 2019. *Agence Nationale de la statistique et de la démographie*.
- ANSD (2020) – Bulletin mensuel des statistiques économique de Janvier 2020.
- Asiedu J.J. (1991) – *La transformation des produits agricoles en zone tropicale: approche technologique*. KARTHALA Editions.
- Atchade G.S.T., Segbotangni E.F., Mensah S.E.P., Houndonougbo M.F., Attakpa S.E., Crysostome C.A.A.M. (2019) – Les grains de céréale dans l'alimentation des poulets au Bénin: digestibilité métabolique et paramètres biochimiques sériques induits. *Afrique SCIENCE*, **15**, 25–38.
- Axtell J.D., Kirleis A.W., Hassen M.M., D'Croz Mason N., Mertz E.T., Munck L. (1981) – Digestibility of sorghum proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **78**, 1333–1335.
- Ayssiwede S.B., Azebaze S.P.A., Missohou A. (2009) – Essais de substitution du maïs par le sorgho dans la ration: effets sur les performances zootechniques des poulets de chair. *Rev. Afr. Sante Prod. Anim*, **7**, 25–32.
- Ba K., Tine E., Destain J., Cissé N., Thonart P. (2010) – Étude comparative des composés phénoliques, du pouvoir antioxydant de différentes variétés de sorgho sénégalais et des enzymes amylolytiques de leur malt. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **14**, 131–139.
- Barnaud A. (2007) – Savoirs, pratiques et dynamiques de la diversité génétique: le sorgho (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*) chez les Duupa du nord Cameroun. Montpellier 2.
- Chantereau J., Nicou R. (1991) – *Le sorgho*. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.

- Chantereau J., Ratnadass A., Cruz J.-F., Trouche G. (2013) – *Le Sorgho*.
- Charreau C., Fauck R. Les sols du Sénégal. , 45.
- Chavan U.D., Patil J.V., Shinde M.S. (2016) – Nutritional and roti quality of sorghum genotypes. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, **10**, 80–87.
- Chibber B.A., Mertz E.T., Axtell J.D. (1980) – In vitro digestibility of high-tannin sorghum at different stages of dehulling. *Journal of agricultural and food chemistry*, **28**, 160–161.
- Cisse D.N. (2015) – Fiches Variétales Niébé & Sorgho. , 16.
- Comas J., MacPherson H.G. (2002) – *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l’Ouest et du Centre: situation actuelle et définition d’un Plan d’action régional*. Servei de Comunicació Institucional de la UPC, Barcelona.
- Dehaynin N. (2007) – Présentée à l’UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I (Médecine - Pharmacie) et soutenue publiquement le 1er juin 2007 pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire. , 109.
- Diatta C. (2016) – DEVELOPMENT OF SORGHUM [*Sorghum bicolor* (L) Moench] FOR RESISTANCE TO GRAIN MOLD IN SENEGAL. UNIVERSITY OF GHANA, Ghana.
- Diatta E. (2018) – GENOMIC STUDY AND GENETIC IMPROVEMENT OF SORGHUM [*Sorghum bicolor* (L) MOENCH] FOR HIGH PROTEIN DIGESTIBILITY. UNIVERSITY OF GHANA, Ghana.
- Doggett H. (1988) – Sorghum. Tropical agricultural series. *Longman Scientific, Essex Dong J, Teng W, Buchholz WG, Hall TC (1996) Agrobacterium-mediated transformation of Javanica rice. Mol Breed*, **2**, 167–276.
- Duodu K.G., Nunes A., Delgadillo I., Belton P.S. LOW PROTEIN DIGESTIBILITY OF COOKED SORGHUM – CAUSES AND NEEDS FOR FURTHER RESEARCH. , 12.
- Duodu K.G., Nunes A., Delgadillo I., Parker M.L., Mills E.N.C., Belton P.S., Taylor J.R.N. (2002) – Effect of Grain Structure and Cooking on Sorghum and Maize in vitro Protein Digestibility. *Journal of Cereal Science*, **35**, 161–174.

- Duodu K.G., Tang H., Grant A., Wellner N., Belton P.S., Taylor J.R.N. (2001) – FTIR and Solid State¹³C NMR Spectroscopy of Proteins of Wet Cooked and Popped Sorghum and Maize. *Journal of Cereal Science*, **33**, 261–269.
- Duodu K.G., Taylor J.R.N., Belton P.S., Hamaker B.R. (2003) – Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science*, **38**, 117–131.
- Erbersdobler H.F. (1989) – Protein reactions during food processing and storage--their relevance to human nutrition. *Bibliotheca nutritio et dieta*, 140–155.
- FAO (1997) – L'économie Mondiale du Sorgho et du Mil: Faits, Tendances et Perspectives.
- FAOSTAT (2018) –
- Garcia-Esteva R.M., Guerra-Hernandez E., Garcia-Villanova B. (1999) – Phytic acid content in milled cereal products and breads.
- Glennie C.W. (1984) – Endosperm cell wall modification in sorghum grain during germination. *Cereal Chemistry*, **61**, 285–289.
- HAHN D.H., ROONEY L.W., EARP C.F. (1984) – Tannins and phenols of sorghum. *Tannins and phenols of sorghum*, **29**, 776–779.
- Heady H.F. (1957) – The Measurement and Value of Plant Height in the Study of Herbaceous Vegetation. *Ecology*, **38**, 313.
- Hopkins B.G., Whitney D.A., Lamond R.E., Jolley V.D. (1998) – Phytosiderophore release by sorghum, wheat, and corn under zinc deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, **21**, 2623–2637.
- House L.R. (1985) – A Guide to Sorghum Breeding. , 212.
- Hulse J.H., Laing E.M., Pearson O.E. (1980) – *Sorghum and the millets: their composition and nutritive value*. Academic Press.
- Imbernon J. (1981) – Variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol du Sénégal: application au calcul d'un bilan sous culture.
- INITIATIVE MIL/SORGHO (2001) – LA CULTURE ET LA PRODUCTION DU MIL ET DU SORGHO AU SENEGAL : BILAN-DIAGNOSTIC ET PERSPECTIVES.
- ISRA (2012) – Catalogue officiel des espèces et des variétés cultivées au Sénégal.

- Kiprotich F., Erick C., Charles M.M., Wachira N.F. (2015) – Nutritional suitability of bred sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions from East Africa. *African Journal of Food Science*, **9**, 326–334.
- Kretschmer C.B. (1957) – Infrared spectroscopy and optical rotatory dispersion of zein, wheat gluten and gliadin. *The Journal of Physical Chemistry*, **61**, 1627–1631.
- Labeyrie V. (2013) – L'organisation sociale des plantes cultivées Influence des échanges, représentations et pratiques sur la diversité du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) chez les peuples du mont Kenya. Montpellier.
- Liardon R., Hurrell R.F. (1983) – Amino acid racemization in heated and alkali-treated proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **31**, 432–437.
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G. (2002) – Nutritive value of raw materials for rabbits: Egran tables 2002. *World Rabbit Science*, **10**, 157–166.
- Maignien R. (1965) – Notice explicative : carte pédologique du Sénégal au 1/1.000.000. , 71.
- Mauboussin J.-C., Gueye J., N'Diaye M. L'amélioration du Sorgho au Sénégal. , 8.
- Mohan D.P. (1975) – Chemically induced high lysine mutants in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. PhD Thesis. Purdue University.
- Murdock G.P. (1959) – Africa its peoples and their culture history.
- Ndiaye M., Adam M., Ganyo K.K., Guissé A., Cissé N., Muller B. (2019) – Genotype-Environment Interaction: Trade-Offs between the Agronomic Performance and Stability of Dual-Purpose Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Genotypes in Senegal. *Agronomy*, **9**, 867.
- Ndiaye M., Adam M., Muller B., Guisse A., Cisse N. (2018) – Performances agronomiques et stabilité phénotypique de géotypes de Sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) au Sénégal: une étude des interactions géotypes-environnement. *Journal of Applied Biosciences*, **125**, 12617.
- Oria M.P., Hamaker B.R., Axtell J.D., Huang C.-P. (2000) – A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **97**, 5065–5070.
- Ryden P., Selvendran R.R. (1993) – Phytic acid: properties and determination. *Encyclopedia of food science, food technology and nutrition*, 3582–3587.

Sambe M., Tounkara L.S. (2017) – ETUDE DES COMPORTEMENTS RHEOLOGIQUES DES MELANGES DE FARINE BLE/SORGHO SANS TANINS ISSUE DE TROIS NOUVELLES VARIETES CULTIVEES AU SENEGAL ET MISE AU POINT DE PAINS A BASE DE FARINES COMPOSEES (BLE/SORGHO). , 6.

Seguin B., Soussana J.-F. (2008) – émissions de gaz à effet de serre et changement climatique : causes et conséquences observées pour l'agriculture et l'élevage. , 13.

Serna-Saldivar S. (1995) – Structure and chemistry of sorghum and millets. *Sorghum and millets: chemistry and technology*, 69–124.

Serrem C.A., Kock H.L. de, Taylor J.R.N. (2011) – Nutritional quality, sensory quality and consumer acceptability of sorghum and bread wheat biscuits fortified with defatted soy flour. *International Journal of Food Science & Technology*, **46**, 74–83.

SES (2016) – Situation Economique et sociale du Sénégal.

Shull J.M., Chandrashekar A., Kirleis A.W., Ejeta G. (1990) – Development of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Endosperm in Varieties of Varying Hardness. , 16.

Shull J.M., Watterson J.J., Kirleis A.W. (1991) – Proposed nomenclature for the alcohol-soluble proteins (kafirins) of *Sorghum bicolor* (L. Moench) based on molecular weight, solubility, and structure. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **39**, 83–87.

Smith C.W., Frederiksen R.A. (2000) – *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons.

Sorgho-Développement International (2020) – Actualités. *Sorghum ID*.

Srinivasa Rao P., Kumar C.G. (2013) – *Characterization of improved sweet sorghum cultivars*. Springer.

Stemler A.B.L. (1980) – Origins of plant domestication in the Sahara and the Nile Valley. *Origins of plant domestication in the Sahara and the Nile Valley*.

Taylor J.R.N. (2016) – Grain production and consumption: Africa. *Encyclopedia of Food Grains*, **4**, 359–366.

Téléchargement - Projet de diffusion et d'adoption à grande échelle des technologies

Thakur R.P., Reddy B.V.S., Mathur K., International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Eds.) (2007) – *Screening techniques for sorghum diseases*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, Andhra Pradesh, India.

TOURE K. (2018) – Evaluation des lignées quasi-isogéniques (NIL) de l'arachide (*Arachis hypogaea*): Précision de la position des QTL de taille des gousses et de graines sur le chromosome A09.

Trouche G., Fliedel G., Chantereau J., Barro C. (1999) – Productivité et qualité des grains de sorgho pour le tô en Afrique de l'Ouest: les nouvelles voies d'amélioration.

Tundo P., Selva M. (2002) – The chemistry of dimethyl carbonate. *Accounts of chemical research*, **35**, 706–716.

Vachaud G., Dancette C., Sonko S., Thony J.L. (1978) – Field determination of the hydraulic characteristics of a unsaturated soil. Application on two typical soils of Republic of Senegal with an example to the calculation of the water balance. *Annales agronomiques*.

Winn J.A., Mason R.E., Robbins A.L., Rooney W.L., Hays D.B. (2009) – QTL Mapping of a High Protein Digestibility Trait in *Sorghum bicolor*. *International Journal of Plant Genomics*, **2009**, 1–6.

Wu Y., Yuan L., Guo X., Holding D.R., Messing J. (2013) – Mutation in the seed storage protein kafirin creates a high-value food trait in sorghum. *Nature Communications*, **4**, 2217.

ANNEXES

Annexe 1 : Analyse de variance des lignées à Bambey

Source	DDL	HPL	LPAN	DPAN	PMG	Tend	Sc.Mois	RDT	DSFL
Génotypes	19	378,6*	6,41	0,65.	17,93	0,17	0,02	835955	4,71
Rep : Block	2	620,1*	2,18	1,23	13,47	0,01	0,00	815542	35,12*
Rep : Block	9	210,6	4,37	0,56	9,58	0,17	0,01	1124016	7,83
Erreur Résiduelles	29	175,7	3,22	0,37	17,22	0,10	0,02	980035	9,65

Annexe 2 : Analyse de variance des lignées à Darou

Source	DDL	HPL	LPAN	DPAN	PMG	Tend	Sc.Mois	RDT
Génotypes	19	353,0***	1,20	0,25*	10,44	0,10	0,15***	1296742**
Rep	2	131,4	0,29	0,12	2,52	0,02	0,03.	762837
Rep : Block	9	67,6	1,89*	0,23*	5,69	0,005	0,004	1149708*
Erreur Résiduelles	27	65,8	0,79	0,10	7,373	0,08	0,009	370360

„***“ = signifiant à 0.001

„**“ = signifiant à 0.01

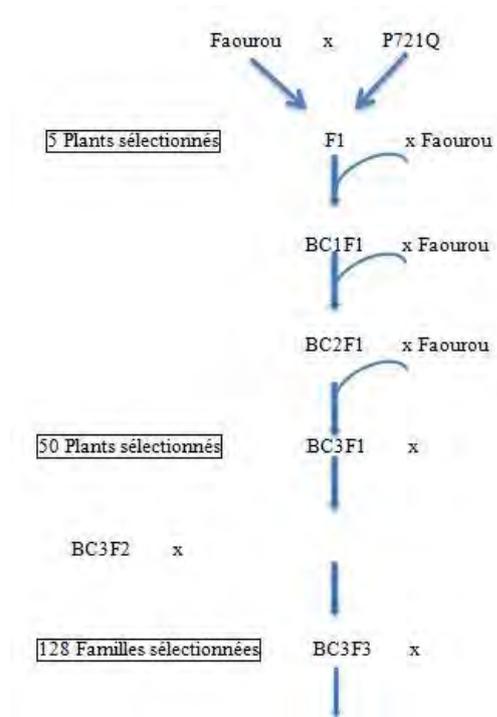
„*“ = signifiant à 0.05

„.“ = signifiant à 0.1

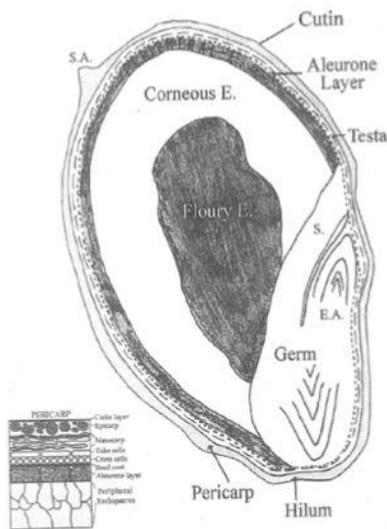
„“ = signifiant à 1

DDL : degré de liberté ; HPL : hauteur plante ; LPAN : longueur panicule ; DPAN : diamètre panicule ; PMG : poids mille graines ; Tend : texture endosperme ; Sc.Mois : score moisissure ; RDT : rendement

Variété locale de sorgho x mutant de sorgho à protéines hautement digestibles (P721Q)



Annexe 3 : Croisement entre Faourou et P721Q



Annexe 4 : Anatomie d'un grain de sorgho (coupe longitudinale) (Serna-Saldivar, 1995)

			11.2 m						11.2 m						11.2 m						
			Rep 1					1.6 m	Rep 2					1.6 m	Rep 3						
18 m	3.6 m	B1	8	48	138	1	40	B5	23	20	38	3	8	B9	138	140	P721Q	3	143		
	3.6 m	B2	140	2	23	55	Faourou	B6	140	P721Q	48	Faourou	2	B10	111	40	2	55	1		
	3.6 m	B3	3	113	45	99	111	B7	40	143	45	1	49	B11	45	20	99	Faourou	38		
	3.6 m	B4	P721Q	20	49	143	38	B8	55	111	99	113	138	B12	49	48	8	113	23		
			36.8 m																		

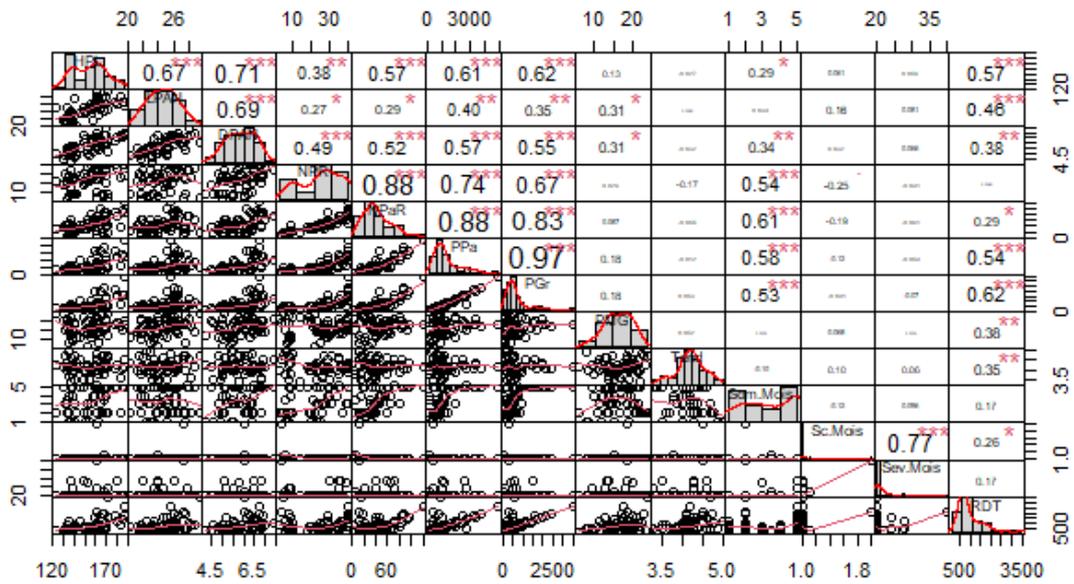
Annexe 5 : Dispositif de Bambey

			11.2 m						11.2 m						11.2 m						
			Rep 1					1.6 m	Rep 2					1.6 m	Rep 3						
18 m	3.6 m	B1	P721Q	2	113	55	143	B5	138	Faourou	20	48	3	B9	45	20	49	140	113		
	3.6 m	B2	Faourou	38	8	140	48	B6	38	55	49	45	99	B10	1	138	2	3	99		
	3.6 m	B3	111	99	49	40	138	B7	P721Q	40	23	111	140	B11	P721Q	40	8	48	38		
	3.6 m	B4	1	3	23	20	45	B8	1	113	8	2	143	B12	143	111	23	55	Faourou		
			36.8 m																		

Annexe 6 : Dispositif de Darou

	HPI	LPan	DPan	TEnd	Sc.mois
HPI					
LPan	0,29*				
DPan	0,37**	0,34**			
TEnd	-0,35**	-0,36**	-0,27*		
Sc.Mois	-0,41**				
Rdt	0,36**	0,35**	0,47***	-0,23.	

Annexe 7 : Analyse des corrélations des variables à Darou



Annexe 8 : Analyse des corrélations des variables à Bambe



Annexe 9 : Image montrant le dessèchement des plants à Bambe

Caractérisation agro-morphologiques des lignées de sorgho [Sorghum bicolor (L.) Moench] à protéines hautement digestibles dans le bassin arachidier

THIAW Jean Noel Silaye¹, DIATTA Elisabeth DIATTA-HOLGATE², NDIAYE Aliou¹, THIAO Mansour¹, DIATTA Cyril¹

¹Université Cheikh Anta Diop de Dakar, ²Centre National de Recherche agronomiques de Bambey, ³Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse de Thiès



Introduction

L'augmentation de la population urbaine et la diversification des besoins en produits alimentaires font que la demande totale en grain de sorgho reste insatisfaite. Dans cette perspective, le développement de variétés de plus en plus productives et l'amélioration des systèmes de cultures demeurent des préoccupations constantes de la recherche (Comas & MacPherson, 2002). Le programme de recherche de l'institut sénégalais de recherche agricole (ISRA) sur l'amélioration génétique du sorgho s'active dans la création de variétés à haut rendement et de bonne qualité de graines, résistantes aux différentes contraintes biotiques et abiotiques (DIATTA, 2018). En effet, l'incorporation du caractère à haute teneur en lysine et à haute digestibilité protéique dans les variétés de sorgho adaptées localement fournira un produit à plus grande valeur nutritionnelle pour la nutrition infantile (DIATTA, 2018). Des études récentes ont abouti à la création de 18 lignées biparentales de sorgho à protéines hautement digestibles (DIATTA, 2018), dont nous allons évaluer leur caractéristiques agro-morphologiques ainsi que l'effet de l'environnement.

Matériels et Méthodes

Les essais ont été installés à Bambey (14°42'N et 16°28'W) et à Darou Pakathiar (13°93'N et 15°83').



Figure 01 : Localisation des sites expérimentaux

Le matériel végétal est constitué de 20 génotypes : 18 lignées à protéines des grains hautement digestibles et les deux parents (Faourou et P721Q un mutant hautement digestible).

L'étude a été conduite sur un dispositif 4x5 alpha lattice.



Figure 02 : Faourou x P721Q & 18 lignées à Bambey

Collecte de données

Les données climatiques collectées sont : la température, l'humidité relative et l'insolation. Les observations et mesures agro-morphologiques concernent la date de 50% floraison (DSF), la hauteur sol-sommet panicule (HPI), la longueur des panicules (LPan), le diamètre des panicules, le nombre de poquets récoltés (NPR), le nombre de panicules récoltées par parcelle (NPR), le poids des panicules par parcelle (PPa), le poids mille grains (PMG), le rendement en grains (Rdt), le score moisissure (Sc.Mois), la texture de l'endosperme (TEnd) et le poids grains par parcelle (PGr).

Analyses statistiques

Les analyses de variance (ANOVA), les tests de comparaisons multiples (HSD Turkey), les corrélations bivariées de Pearson entre variables étudiées ont été effectués grâce au logiciel R (version 2.3.4) et ont porté sur les moyennes ajustées. Les graphes format matrix plot permettant de comparer les variables deux à deux dans un même site ou de faire une combinaison des sites. Ils ont été générés avec le logiciel Minitab17. Les histogrammes et courbes pour les paramètres pluviométriques ont été obtenus avec Microsoft Excel.

Résultats clés

L'analyse de variation montre que l'effet du facteur site est statistiquement significatif pour toutes les variables sauf le poids mille grains. L'effet du facteur interaction site x génotype statistiquement significatif pour la variable HPI, Sc.Mois, et Rdt.

Tableau 01 : Analyse de variance des variables dans les deux sites

Source	DDL	HPI	LPan	DPan	PMG	TEnd	Sc.Mois	Rdt
Site	1	2234,3***	647,7***	1,2*	8,4	1,48***	0,07*	40357128***
Rep	2	97,4	0,5	0,4	22,6	0,02	0,03	519104
Block (Rep x site)	20	190,6	3,2	0,5	4,6	0,05	0,01	822104**
Génotypes	19	345,6**	3,4	0,5*	16,4	0,13	0,02	842858**
Site x Génotypes	19	349,6**	3,9	0,3	12,1	0,12	0,06***	975639**
Erreur								
Résiduelles	43	120,7	2,4	0,3	13	0,11	0,02	322220

Le tableau 02 ci-dessous montre les données combinées des variables des lignées avec leur significativité.

Tableau 02 : Performance des lignées dans les deux sites

Génotypes	HPI	LPAN	DPAN	PMG	Tend	Sc. Mois	RDT
E1	155,02*	27,46*	3,56*	18,32*	4,23*	1*	1132,29*
E111	142,48*	26,93*	3,73*	18,21*	4,33*	1,03*	1060,32*
E113	153,90*	28,02*	3,83*	19,64*	4,64*	1*	1824,11*
E138	160,20*	28,08*	6,08*	13,87*	4,31*	1*	1299,68*
E140	156,31*	25,93*	3,78*	15,88*	4,03*	1*	789,91*
E143	141,31*	25,22*	3,70*	15,27*	4,52*	1,23*	938,78*
E2	144,08*	25,55*	4,24*	15,76*	4,07*	1*	825,7*
E20	153,54*	25,84*	3,17*	14,46*	4,33*	1,1*	1391,83*
E23	154,8*	27,83*	6,00*	16,41*	4,11*	1*	1699,75*
E3	158,55*	27,53*	6,09*	18,33*	4,21*	1,03*	1816,92*
E38	166,47*	28,68*	6,39*	17,27*	4,26*	1,04*	1907,63*
E40	147,42*	27,51*	5,48*	15,98*	4,31*	1,03*	1073,92*
E48	149,40*	25,7*	5,49*	20,3*	4,28*	1,06*	2443,43*
E48	156,31*	27,84*	5,91*	14,82*	4,18*	1*	1757,87*
E49	153,47*	27,69*	5,77*	17,66*	4,3*	1*	1731,32*
E55	156,66*	28,74*	6,09*	16,32*	4,36*	1,08*	1354,42*
E8	142,15*	25,87*	5,30*	15,8*	4,26*	1*	866,78*
E99	144,89*	26,94*	5,45*	17,42*	4,51*	1,16*	1943,79*
Faourou	154,20*	26,91*	5,41*	14,72*	4,26*	1*	1368,60*
P721Q	144,63*	27,18*	5,61*	15,78*	4,65*	1*	1014,68*

Ce tableau 03 montre la variabilité au sein des lignées à Bambey et à Darou Pakathiar. Il présente les minimum & maximum, les moyennes, les déviations standard et les coefficients de variation des lignées pour chaque variable.

Tableau 03 : Variabilité au sein des lignées

Variable	Bambey				Darou				Analyse Combinée			
	Min	Max	DevSt	CV	Min	Max	DevSt	CV	Min	Max	DevSt	CV
HPI	141,74	184,1	16,8	8,56	117,04	190,9	34,69	4,79	143,28	186,47	15,29	10,7
LPan	22,01	28,1	1,87	1,22	26,53	40,2	26,79	6,55	22,22	28,74	27,13	6,88
DPan	5,04	6,78	0,55	10,44	5,17	6,38	5,82	8,18	5,55	1,77	6,38	1,77
PMG	14,47	42	13,18	7,86	43	49	4,44	6,18	42,4	48	4,1	6,11
Sc.Mois	0,43	1,8	0,67	1,29	1,0	1,0	0,8	1,07	1	1	1	1
Rdt	808,722	1842	59,9	6,17	1012,4	1810,8	108,33	19,23	1031	1473,6	147,67	10,08

Var = Variance, Moy = Moyenne, DevSt = Déviation standard, CV = Coefficient de variation

Résultats clés

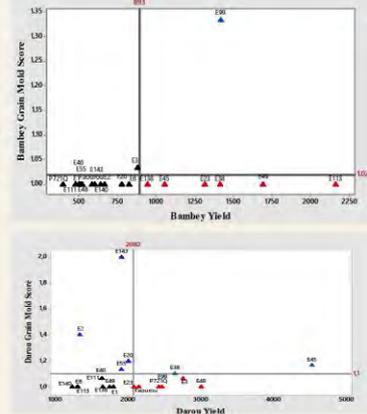


Figure 02 : Diagramme du Score moisissure des lignées sur le rendement à Bambey et à Darou Pakathiar

Dans les deux sites nous avons des lignées adaptées aux environnements avec une bonne résistance aux moisissures.

Les 10 meilleures lignées à Bambey sont les suivantes E45, E38, E99, E113, E3, E48, E23, E49, E143 et E20 avec des rendements compris entre 1391,83 et 2223,83 kg/ha.

À Darou, les lignées les plus performantes sont E45 (4530,08 kg/ha), E48 (3005,45 kg/ha), E3 (2756,94 kg/ha), E38 (2505,73 kg/ha), E143 (2210,76 kg/ha), E99 (2470,48 kg/ha), E23 (2084,34 kg/ha), E20 (2006,17 kg/ha).

Conclusions

Dans la présente étude, la différence en rendement grain observée entre les génotypes est principalement due à une différence entre les lignées elles-mêmes. Les environnements et l'interaction génotype-environnement jouent également un rôle important sur l'ensemble du développement de la plante. L'interaction génotype-environnement observée est due principalement à une différence de la distribution de la pluviométrie durant l'essai mais aussi à un stress biotique post-floral à Bambey.

Remerciements

Ce travail a été financé par le projet USAID Feed the Future Sorghum and Millet Innovation Lab (SMIL).

Références

- Comas J., MacPherson H.G. (2002) – *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre: situation actuelle et définition d'un Plan d'action régional*. Servei de Comunicació Institucional de la UPC, Barcelona.
- Diatta E. (2018) – (L) MOENCH] FOR HIGH PROTEIN DIGESTIBILITY , 150.