

TABLE DES MATIERES

DEDICACES :	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIERES.....	v
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
RESUME.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I. Généralité sur le Sorgho	3
I.1 Origine et diversification du sorgho	3
I.2 Classification botanique du sorgho.....	4
I.3 Morphologie de la plante de sorgho	6
I.3.1 Appareils végétatif de sorgho.....	6
I.3.2 Appareils reproductifs du sorgho	7
I.4 Cycle de développement du sorgho	8
I.5 Ecologie du sorgho	8
I.6 Amélioration du sorgho pour le rendement au Sénégal.....	10
I.7 Importance et utilisation du sorgho	11
I.8 Bio agresseurs de sorgho	12
I.9 Moisissures des grains de sorgho	14
I.9.1 Définition des moisissures	14
I.9.2 Manifestation des moisissures.....	14
I.9.3 Développement des moisissures	14
I.9.4 Agents responsables de la moisissure des grains	16

I.9.5 Effets des champignons sur la semence du sorgho	17
I.9.6 Effet des moisissures sur la santé	17
I.9.7 Effets des moisissures sur l'économie	18
I.9.8 Gestions des moisissures	18
I.10 Amélioration du sorgho pour la résistances aux moisissures au Sénégal.....	19
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	20
II.1 Présentation des sites d'étude	20
A. La station expérimentale de Sinthiou Maléme	21
B. La station expérimentale de Bambey CNRA	21
II.2 Matériel végétal.....	23
II.3 Méthodologie	23
II.3.1 Dispositif expérimental	23
II.1.2 Conduite de l'essai.....	25
II.1.3 Battage et conservation.....	25
II.1.4 Observations et mesures	25
II.4 Collecte et Analyse statistique des données	29
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	30
III.1 Résultats	30
III.1.1 La diversité au sein des lignées	30
III.1.2 Variabilités au sein des génotypes étudiés	30
III.1.3 Performance des lignées pour les variables étudiées.....	314
III.1.3.1 Performance des lignées pour les variables agro-morphologique.....	34
III.1.3.2 Performance des lignées pour les variables phytopathologiques.....	34
III.1.4 Performance des variétés par rapport aux moisissures des grains dans les deux sites.....	34
III.1.5 Performance des lignées pour le rendement grain dans les deux sites	36
III.1. 6 Performance des lignées pour le rendement et la résistance aux moisissures.....	36
III.I.7 Estimation des paramètres génétiques étudiés	37

III.1.8 Relation entre les différentes variables.....	39
III.2 Discussion.....	41
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45
ANNEXES :	49



SIGLES ET ABREVIATIONS

- ANDS :** Agence Nationale de la Démographie et de la Statistique
- BIOVEM :** Biotechnologies Végétales et Microbiennes
- CNRA :** Centre Nationale de Recherches Agronomiques
- IBPGRI :** International Board for Plant Genetic Resources
- ICRISAT :** International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
- INTSORMIL :** Sorghum and Millet Collaborative Research Support Program
- ISRA:** Institut Sénégalaise de Recherches Agricoles
- IRAT :** Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières
- ROCARS :** Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho
- SAWAGEN :** Amélioration de l'adaptation du sorgho en Afrique de l'Ouest avec un réseau de sélection génomique
- UCAD :** Université Cheikh Anta Diop de Dakar
- WAAPP :** West Africa Agricultural Productivity Program

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Historique possible de la domestication et la diffusion du sorgho.....	4
Figure 2 : Morphologie de la panicule et de l'épillet des cinq races de sorgho.....	5
Figure 3 : plante de sorgho.....	39
Figure 4 : Etapes de développement du sorgho.....	41
Figure 5 : Les principaux pays producteurs de sorgho dans le monde en 2010.....	45
Figure 6 : Concepts de moisissure et détérioration des grains de sorgho.....	15
Figure 7 : Cycle de développement des moisissures.....	16
Figure 8 : Localisation des sites d'étude.....	20
Figure 9 : Moyennes décadaires de la pluviométrie à la station de Sinthiou Maléme durant la période de l'expérimentation.....	21
Figure 10 : Moyennes décadaires de l'humidité relative à Bambey en hivernage 2019	22
Figure 11 : Moyennes décadaires de la température à la station de Bambey en hivernage.....	23
Figure 12 : Moyennes décadaires de la pluviométrie à la station expérimentale du CNRA de Bambey pendant la saison des pluies 2019	23
Figure 13 : Plan du dispositif expérimental :(A) = Bambey, (B) = Sinthiou.....	24
Figure 14 : Symptômes des moisissures sur les grains de sorgho : (A) = à la formation des grains, (B) = à la maturité physiologique, (C) = en boîte de Pétri.....	26
Figure 15 : Observation des moisissures après battage des panicules.....	27
Figure 16 : Modalité de la texture endosperme des grains.....	28
Figure 17: Classification des lignées en fonction du score moisissure à la maturité physiologique.....	35
Figure 18: Classification des lignées en fonctions du rendement de grain dans les deux sites...	36
Figure 19: La classification des lignées en fonction du rendement en grain et du score moisissures à la maturité physiologique	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Echelle de notation de la sévérité de la maladie.....	26
Tableau 2 : Analyse de variance des paramètres quantitatifs du sorgho à Bambey et Sinthiou.... Maléme.....	30
Tableau 3 : Variabilité des lignées pour les différentes variables	31
Tableau 4 : Performance des 25 lignées pour paramètres agro morphologiques étudiés.....	33
Tableau 5 : Performance 25 des lignées pour les paramètres phytopathologiques étudiées.	34
Tableau 6 : Estimation des paramètres génétiques du sorgho	39
Tableau 7 : Relations entre les paramètres.....	40

RESUME :

Au Sénégal, le sorgho est principalement cultivé pendant la saison des pluies mais aussi en décrue le long de la vallée du fleuve Sénégal. Il constitue l'une des plus importantes céréales pour l'alimentation des populations rurales. Cependant sa production est confrontée à de nombreuses contraintes biotiques dont les moisissures des grains. Ces dernières, provoquent davantage la chute du rendement, altèrent la qualité physique des grains de sorgho infecté. La sélection pour l'amélioration du rendement et la tolérance aux moisissures des grains constituent un défi majeur pour accroître sa productivité. Pour participer à la réduction de cette maladie afin d'augmenter le rendement, l'évaluation de 25 lignées issues du croisement entre Nganda et Suréño, pour le rendement et la tolérance aux moisissures des grains a été entreprise avec la présence de 3 témoins. L'étude a été réalisée dans les stations expérimentales de l'ISRA situées à Bambey et à Sinthiou Maléme durant la saison pluvieuse 2019. Un dispositif expérimental en bloc incomplet randomisé de type *Alpha Lattice* avec trois répétitions a été utilisé, avec comme seul facteur étudié, la lignée à 25 niveaux. Les résultats obtenus ont montré du point de vue phytopathologiques et agro-morphologiques que les lignées E 400, E 270-1, E 300-A, E 270-2, E 275-A, E 269, E 275-1, E 286, E 270-4, E 270-3, E 394-1, E 300-2 et E 84-1 ont présenté un bon rendement et une bonne résistance aux moisissures des grains.

Mots clés : lignées, population Mini-NAM, sorgho, rendement, tolérance moisissures des grains, Bassin Arachidier, Sénégal Oriental.

ABSTRACT :

In Senegal, sorghum is mainly cultivated during the rainy season but also in decrease along the Senegal river valley. It is one of the most important cereals for the diet of rural populations. However, its production is confronted with many biotic constraints including grain molds. The latter, further causing the drop in yield, alter the physical quality of the infected sorghum grains. Breeding for yield improvement and mold tolerance in grains is a major challenge in increasing productivity. To participate in the reduction of this disease in order to increase the yield, the evaluation of 25 lines resulting from the cross between Nganda and Suréño, for the yield and the tolerance to molds of the grains was undertaken with the presence of 3 controls. The study was carried out in experimental stations located in ISRA Bambey and Sinthiou Maleme during the rainy season 2019. An experimental randomized incomplete block an Alpha Lattice design with three repetition was used, with the only factor studied , the line at 25 levels. The results obtained showed from the point of phytopathological and agro-morphological that the lines E 400, E 270-1, E 300-A, E 270-2, E 275-A, E 269, E 275-1, E 286, E 270-4, E 270-3, E 394-1, E300-2 and E84-1 exhibited good yield and good resistance to grain mold.

Key words: lines, Mini-NAM population, sorghum, yield, grain mold tolerance, Arachidier Basin, Eastern Senegal.

INTRODUCTION

Le sorgho (*Sorghum bicolor* L) est une plante originaire d'Afrique qui appartient à la famille des graminées. Il vient en 5^e position parmi les céréales cultivées dans le monde et en 2^e position après le maïs en Afrique où sa production atteint 16 millions de tonnes et est considérée comme une culture vivrière importante (Planetoscope, 2012).

Au Sénégal, le sorgho est principalement cultivé pendant la saison des pluies mais aussi en décrue le long de la vallée du fleuve Sénégal. Cette céréale constitue avec le mil la base de l'alimentation des populations rurales. La production nationale du sorgho est estimée à 295463 tonnes en 2018 contre 225865 tonnes en 2017, soit une hausse de 31% par rapport en 2017. Ce qui correspond à une augmentation de 62% par rapport à la moyenne de ces cinq dernières années. Les principales régions productrices sont par ordre d'importance Kaffrine, Tambacounda et Kolda qui totalisent une hausse de 33% de la production nationale de sorgho (ANSD, 2018 ; ANDS, 2019). Cependant l'agriculture au Sénégal est généralement caractérisée par une baisse chronique de la production céréalière qui peut être due à la sécheresse, au non-respect des techniques culturales, à la médiocre fertilité des sols, aux ennemies des cultures (*striga*, moisissure), aux maladies, à la faible productivité de nos variétés locales, et surtout le déficit presque permanent en intrants agricoles, plus particulièrement en semences améliorées et de qualités (Ndiaye *et al.*, 2005). A toutes ces contraintes s'ajoutent la croissance démographique, l'intensification de l'élevage de volailles et les systèmes de production animale de cycle court qui contribueraient à l'augmentation de la demande en aliment (Kaminski *et al.*, 2013). Cela justifie aujourd'hui que les faibles rendements en milieu paysan qui sont insuffisants pour satisfaire les besoins de la population. En plus la hausse des températures prédit par les modèles climatiques d'ici 2050 et une réduction de 20% des pluies entraînant une raréfaction de la pluviométrie pourraient avoir un impact négatif sur l'agriculture au niveau local (<http://www.iedafrique.org/climat> et planification). Donc il y'a un besoin urgent d'adapter de nouvelles stratégies, en développant des nouveaux cultivars avec une meilleure adaptation à la sécheresse, mais également pour une production de meilleur rendement et une bonne résistance aux contraintes biotiques et abiotiques.

Pour faire face à ces contraintes et ces besoins urgents l'Institut Sénégalaise de Recherche Agricole (ISRA) a mis en place un programme de recherche sur l'amélioration génétique du sorgho qui s'active dans la création de variétés à haut rendement et de bonne qualité de graines, résistantes aux différentes contraintes biotiques et abiotiques majeures, et adaptées aux différentes zones agro écologiques du pays. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette activité qui

cherche à évaluer des lignées de la population Mini-NAM de sorgho pour le rendement et la tolérance aux moisissures des grains en milieu paysan. Ces travaux pourraient contribuer à l'augmentation de la production et la tolérance aux moisissures en milieu paysan qui présentent aujourd'hui une priorité majeure sur l'amélioration du sorgho. L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'augmentation de la productivité du sorgho par le développement de variétés à haut potentiel de rendement et résistantes aux moisissures. Spécifiquement, cette étude vise à :

- valider le statut de résistance / tolérance aux moisissures des grains de lignées recombinantes de sorgho sans tannin de la population Mini-NAM
- identifier les lignées à haut potentiel de rendement en grain,
- déterminer les paramètres génétiques qui expliquent les variations observées,
- établir les relations qui existent entre le rendement, ses composantes et le score moisissure.

Ce document est divisé en quatre parties.

La première partie présente une synthèse bibliographique où les connaissances générales sur le sorgho et les moisissures des grains sont exprimées. La deuxième partie renseigne sur le matériel utilisé ainsi que la méthodologie appliquée pour cette étude. La troisième partie expose les résultats obtenus et leurs discussions. Et enfin dans la quatrième partie, une conclusion est tirée et des perspectives sont dégagées.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur le Sorgho

I.1 Origine et diversification du sorgho

Plusieurs données archéologiques et botaniques considèrent la zone soudano-sahélienne au sud-est du Sahara comme le lieu vraisemblable de la domestication du sorgho. Car c'est dans cette vaste aire qu'on a découvert les plus anciens restes archéologiques de sorgho et ces restes ont été datés entre 6000 à 4000 ans avant J.C. Cela laisse penser que la domestication a eu lieu environ en cette période. C'est en Afrique, particulièrement en Nubie que les premiers restes archéologiques identifiés de sorgho cultivés ont été trouvés et datés du premier millénaire avant J.C. Ils ont été reconnus comme la race *bicolore* avec ces caractères les plus primitifs. La domestication de cette race aurait daté du troisième millénaire avant J.C. Par la suite, ces sorghos *bicolor* auraient diffusé en direction d'Afrique de l'Ouest et du Sud faisant de ces régions des centres secondaires de domestication pour les sorghos. On note ainsi en Afrique trois centres géographiques actifs dans la diversification du sorgho cultivé :

- ❖ le centre-Ouest africain qui a contribué à l'établissement des sorghos de race *guinea* ;
- ❖ le centre-Est africain riche en sorgho des races *caudatum* et *durra* ;
- ❖ le centre-Sud-africain à l'origine des sorghos de race *kafir*

Dès le troisième millénaire ces sorghos auraient rallié le continent Asiatique sur deux voies : une voie essentiellement terrestre et une voie maritime.

Les sorghos de types *durra* et *bicolore* auraient été les premiers arrivés dans le continent asiatique en passant par la voie terrestre. Ceci est confirmé par des restes de sorghos cultivés retrouvés par les archéologues dans la péninsule arabe et qui dataient environ 2500 avant J.C, en Inde d'environ 2000 avant J.C. et en Chine du troisième millénaire avant J.C. Les sorghos de l'Afrique de l'Ouest et du Sud (*guigne* et *guinea-kafir*) auraient atterri en Asie dès le deuxième millénaire avant J.C. Ce passage de sorgho vers les autres continents est globalement étayé sur cette Figure 1 (Chantereau *et al.*, 2013).

Le sorgho serait venu en Europe depuis l'Inde et l'Afrique à travers l'Arabie et la Perse premier siècle après J.C et il était totalement marginalisé (Chantereau & Nicou, 1991). Le sorgho a été introduit en Amérique à l'époque du commerce triangulaire, où les sorghos de l'Afrique ont été amenés en Amérique au XIXe siècle. A la fin du XIX siècle le sorgho était présent sur tous les continents (Chantereau *et al.*, 2013).

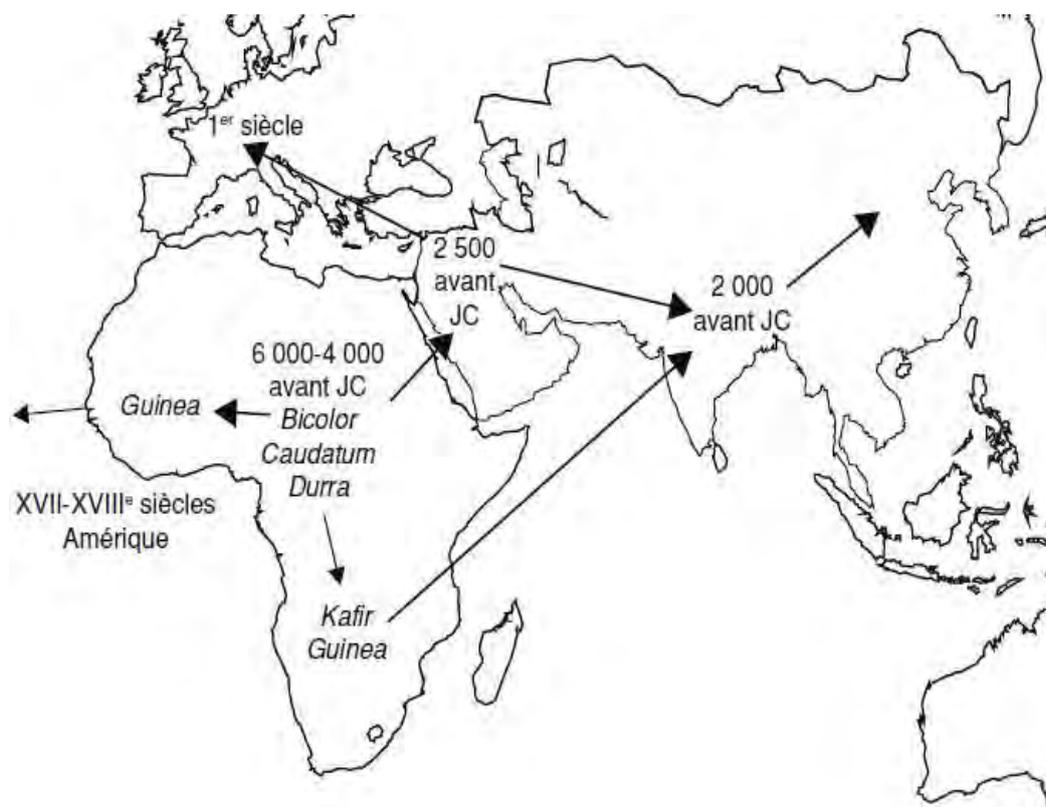


Figure 1 : Historique possible de la domestication et la diffusion du sorgho.

Source : (Chantereau *et al.*, 2013)

I.2 Classification botanique du sorgho

Le sorgho est une plante diploïde avec un nombre chromosome de base $n=10$. C'est une espèce annuelle monocotylédone. Il fait partir de la famille des Graminées actuellement nommées *Poacées* et à la tribu des Andropogonées. Le sorgho cultivé appartient au genre *Sorghum*, espèce *bicolore* et sous-espèce *bicolore* (Chantereau *et al.*, 2013). Il présente une grande diversité morphologiques et plusieurs variétés existantes qui font l'objet de nombreuses classifications botaniques différentes. La classification la plus récente basée sur la forme des panicules et des caractères des épillets fait par Harlan et De Wet (1972) est la plus fonctionnelle et la plus utilisée. C'est une classification simplifiée qui distingue cinq races de bases qui sont : les races *bicolore*, *guinea*, *caudatum*, *durra* et *kafir*, dans laquelle il y'a les 10 combinaisons deux à deux de ces races de *guinea*, *kafir* et *caudatum*, *durra*.

Le sorgho *bicolor* : On le trouve en Asie mais surtout dans toute l'Afrique. Il présente les caractères les plus primitifs avec une panicule lâche, des grains très petits, enveloppés par des glumes de grande taille et fermées.

Le sorgho *guinea* : cette race se distingue par sa panicule lâche avec ces épillets dont les glumes sont baillantes longues renfermant un grain elliptique. On le trouve en Afrique Australe et surtout en Afrique de l'Ouest. Le sorgho *guinea* est généralement de grande taille et photosensible. Il existe trois à quatre types dans la race *guinea* qui se distinguent actuellement dont :

- le type *G. margaritifera*, qui se distingue par l'ouverture des glumes à la maturité avec des grains petits et vitreux,

- le type *G. gambicum* caractérisé par des glumes semi-ouvertes à la maturité avec de gros grains assez vitreux,

- le type *G. guineense* avec des glumes semi-ouvertes à maturité et de gros grains peu vitreux (Deu et Hamon, 1994 ; Chantereau *et al.*, 2013).

Le sorgho *caudatum* : présent une panicule à forme variable. On distingue les grains par leur forme dissymétrique aplatie sur la face ventrale et bombée sur la face dorsale s'inséré dans des glumes courtes. Cette race est cultivée en Afrique centrale et de l'Est.

Le sorgho *durra* : on le trouve essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen-Orient et en Inde. Sa panicule est compacte portée par un pédoncule crossé et les glumes sont petites avec des grains gros globuleux.

Le sorgho *kafir* : est surtout cultivé en Afrique de l'Est, au Sud de l'équateur et en Afrique Australe. La panicule est relativement compacte et cylindrique, les glumes sont de taille variable et les grains sont symétriques. Ce sont des sorghos de petite taille (Chantereau *et al.*, 2013).



Figure 2 : Morphologie de la panicule et de l'épillet des cinq races de sorgho

Source : (<https://www.researchgate.net/figure/Formes-des-panicules-et-des-grains-des-cinq-races-principales-de-sorgho->)

I.3 Morphologie de la plante de sorgho

Les appareils végétatif et reproductif d'une plante de sorgho sont représentés à la Figure 3. Les informations suivantes sur la morphologie sont tirées des travaux de House (1987) ; Chantereau et Nicou (1991) et Chantereau *et al.*(2013)

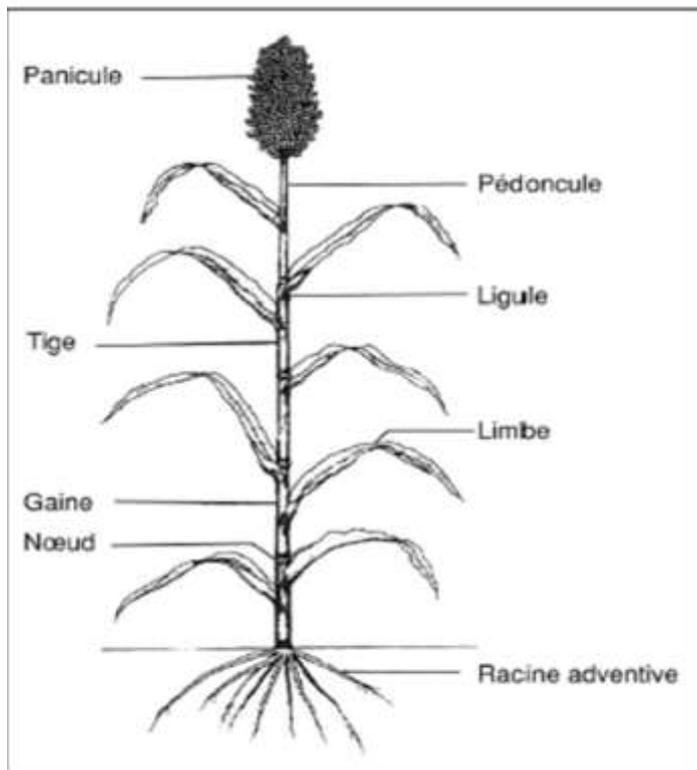


Figure 3 : Plante de sorgho. **Source :** (Chantereau *et al.*, 2013)

I.3.1 Appareil végétatif de sorgho

✓ Les racines

Le sorgho détient un système racinaire puissant capable de croître à la fois latéralement et en profondeur facilitant l'exploitation rapide et efficace de ces besoins en eau et en éléments minéraux dans le sol. Ce qui explique sa capacité à supporter les manques d'eaux importants. Il présente des racines adventives qui naissent au niveau du collet et peuvent s'enfoncer jusqu'à 2m de profondeur.

✓ La tige

La plante de sorgho présente une tige principale constituée de nœud et des entrenœuds qui portent chacun une feuille. Elle a une hauteur qui varie entre 50 cm à 5 m. La tige de sorgho a une épaisseur très variable et un diamètre basal qui va de 5 mm à 3 cm. Elle comprend des talles

qui prennent naissance dans les bourgeons adventifs sur le collet de la principale. Leur présence par pied est en fonction des variétés et des conditions de culture. On les trouve très rarement dans les variétés hybrides.

✓ **Les feuilles**

Les feuilles se retrouvent au niveau des nœuds de la tige et elles sont constituées d'un faux limbe et d'une gaine. A la maturité, elles peuvent avoir une longueur de 30 à 135 cm avec une largeur qui varie de 1,5 cm à 13 cm au point le plus large. Le nombre de feuilles par tige principale dépend de la phase végétative de la variété considérée. Pareillement les tiges comme les feuilles peuvent contenir de l'acide cyanhydrique très toxique pour les animaux.

✓ **Le pédoncule**

Le pédoncule est l'entre nœud supérieur qui porte la panicule. Il est indépendant de la croissance des autres parties de la tige. Il est généralement droit pour toutes les races du sorgho sauf chez la race *durra* où l'on voit souvent des écotypes à pédoncule croisé. Cependant en raison de caractères variétaux ou de l'influence du milieu, on observe des sorghos avec un pédoncule court dégageant mal l'inflorescence de la dernière gaine foliaire. Dans ce cas, on parle alors de mauvaise exsertion.

I.3.2 Appareil reproductif du sorgho

✓ **La panicule**

L'inflorescence chez le sorgho est une panicule. Son initiation correspond à la phase reproductive. Elle est composée d'un axe central, le rachis, où partent des branches primaires. Ces dernières produisent des branches secondaires et même tertiaires. La ramification ultime est un racème. Il porte les épillets par paire. Il consiste toujours en un ou plusieurs épillets. L'un des épillets est sessile et fertile, l'autre est pédicellé et stérile. Il est accompagné de deux épillets pédicellés. La panicule peut être courte et compacte ou bien lâche et ouverte.

✓ **La graine**

La graine de sorgho est un fruit sec ou caryopse. Elle est constituée de trois parties principales : l'enveloppe ou péricarpe, le tissu de la réserve ou albumen ou endosperme et l'embryon. Le péricarpe est l'enveloppe externe de la graine. Son épaisseur est caractérisée par un gène majeur appelé *testa*. C'est une couche fortement concentrée en tanin de couleur rouge foncé ou brun foncé qui peut se situer entre le péricarpe et l'endosperme. Les graines en tanin donnent une coloration et une certaine amertume à la préparation culinaire. Cependant la *testa* est un composé tannique qui a des qualités de résistance aux moisissures des graines. La moitié voir

les 2/3 de la longueur du grain sont occupées par l'embryon. Le hile ou le point d'attachement du grain à la panicule se trouve à la base de la graine sur le côté opposé à celui de l'embryon. Il présente une couleur noire à la maturation physiologique de la graine.

1.4. Cycle de développement du sorgho

Le cycle de développement du sorgho est divisé en trois phases :

- la phase végétative qui part de la germination à l'initiation de la panicule ;
- la phase reproductive qui part de l'initiation paniculaire à la floraison ;
- la phase de maturation qui va de la pollinisation à la maturité physiologique : le remplissage des grains (Figure 4).

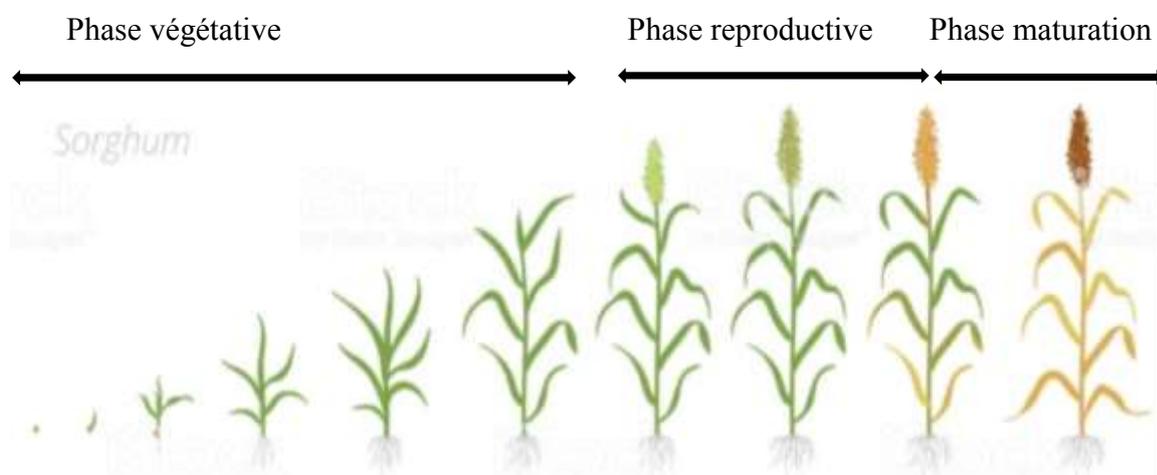


Figure 4 : _Etapes de développement du sorgho_.

Source : (<https://www.google.com/search=etape+de+developpement+du+sorgho&source>)

1.5. Ecologie du sorgho

- **La température**

La température de croissance pour le développement de la plante est limitée par trois températures de seuils : la température de base (T_b), la température optimum (T_o) et la température maximum (T_m). Elles sont en générale comprises entre 11°C qui est la T_b , 42°C qui est la température T_m et une température optimale qui est 30°C . Si celle-ci diminue en dessous de 11°C ou augmente au-dessus de 42°C la croissance sera bloquée (Chantereau *et al.*, 2013).

- **Les besoins en eau**

Grace à sa plasticité, le sorgho présente une bonne qualité adaptative des disponibilités en eau. Ces besoins en eau dépendent de la longueur du cycle des variétés et ils varient entre 350 et 750

mm. Pour un cycle court de 90 jours il est de 350 à 400 mm ; pour un cycle moyen de 110/120 jours il est de 480 à 600 mm et 700 mm pour un cycle long de > à 130 jours (Chantereau *et al.*, 2013).

- **Le sol**

Le sorgho est une plante capable de s'adapter à des sols à la fertilité limitée. Traditionnellement la culture tropicale du sorgho ne recevait pas d'engrais ; mais s'il y'a apport d'engrais la réponse diffère selon les variétés. La culture du sorgho impose une teneur minimale de 6% en argile dans le sol. Toutefois les types de sols sablo-argileux profond et bien drainé avec un pH compris entre 4,5 et 8,5 sont de préférence. Il est tolérant aux sols acides et aux sols salés (Chantereau *et al.*, 2013).

- **Photopériodisme**

L'interaction des organismes (plantes) avec les saisons et l'environnement est un phénomène très spécial. Cette synchronisation entre eux tient en compte plusieurs fonctions physiologiques des plantes qui se passent pendant les saisons : la reproduction, l'élongation des tiges, la croissance des feuilles, la dormance, la formation d'organes de stockage, la chute des feuilles et le développement de la résistance au froid. Les évolutions des plantes lors des saisons sont synchronisées par le photopériodisme. Ce qui signifie que la perception des plantes aux changements de la durée normale du jour et de la nuit est aussi la liaison entre le développement des plantes et la quantité de lumière reçue par jour. La façon de réagir des variétés au photopériodisme ne se justifie par l'appartenance ni à un genre ni à une espèce mais plutôt par leur origine géographique. Les plantes des tropiques sont de jours courts alors que celles des hautes latitudes sont de jours longs (Clerget *et al.*, 2004). Le sorgho comme plusieurs espèces tropicales est une plante de jours courts qui fleurit, quand elle reçoit une lumière quotidienne inférieure à une durée critique. Cependant, grâce à l'amélioration de certaines variétés, l'adaptation de sorgho aux zones Subtropicales puis tempérées a été possible grâce à une perte de photosensibilité. Ceci explique aujourd'hui, qu'il existe des variétés peu ou pas photopériodiques (Chantereau *et al.*, 2013). L'avantage c'est que le photopériodisme est un moyen de lutte contre les moisissures car il permet la synchronisation du développement des variétés de sorgho avec la fin des pluies (Diouf, 2017).

I.6 Amélioration du sorgho pour le rendement au Sénégal

Selon Ndiaye *et al.* (2005), les travaux d'amélioration variétale du sorgho ont été commencés au Sénégal en 1935 par l'IRAT. Cependant les études ont continué avec la création de l'ISRA de 1960 à 1974 dans le cadre de la sélection d'écotype et d'hybrides. En 1970 en raison de la détérioration par les moisissures et des problèmes de la sécheresse, la demande des variétés à maturation rapide (à cycle court), non photosensibles et à grains blancs étaient exhortées. Ainsi d'importantes activités ont été menées avec la collaboration des instituts ou réseaux régionaux et internationaux, comme l'ICRISAT, le ROCARS (Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho), INTSORMIL (Sorghum and Millet Collaborative Research Support Program) et l'université du Nebraska. Les travaux ont été portés sur l'amélioration variétale, l'agronomie, la protection des cultures et des stocks contre les attaques des moisissures et la technologie post récolte. Ils ont fait progresser les connaissances et ont parvenu à des résultats utilisables pour le développement. C'est dans ce contexte qu'un certain nombre de variétés ont été vulgarisées et recommandées dans les différentes zone agro écologique du Sénégal (Cissé, 2002).

-F2-20 avec un potentiel productif de 5,3 t/ha et une moyenne de 3 t/ha, elle se distingue également par un cycle de moyen de 110 jours, une tolérance aux moisissures, et une bonne qualité alimentaire. Elle est recommandée dans les zones à pluviométrie supérieure à 600mm car si les conditions pluviométriques ne sont pas favorables, on note une certaine réduction du rendement.

-CE-196-7-2 se caractérise par un rendement élevé et stable de 2,8 t/ha réputé comme résistant à la sécheresse, bonne qualité grain mais sensible aux moisissures. Elle est recommandée pour la petite côte

-CE-180-33 avec un rendement moyen de 2,8 t/ha tolérante à la sécheresse, aux moisissures, et au charbon allongé mais également avec une bonne vigueur à la levée. Elle est recommandée pour le centre-nord.

-CE-145-66 qui se caractérise par une bonne productivité en moyenne 2,9 t/ha et des rendements stables. Elle est résistante à la sécheresse, tolérante aux moisissures et est recommandée pour le centre -sud et sud-est.

Cependant beaucoup d'hybrides expérimentaux ont été exposés et testés dans les zones. Ce programme a abouti à l'identification des variétés IS-2327 comme résistante aux moisissures

et IS-143320 et E32 tolérantes aux moisissures et aussi la création de la variété F2-20 résistante aux moisissures du sorgho par l'ISRA en 1983 ; il est destiné en Casamance et dans le bassin arachidier Sud.

Une évaluation des variétés introduites de sorgho à Nioro et à Bambey en 2009 et en 2010 ont permis d'identifier les variétés, SC719-11E, IS18760, RTx2911 et Suréño comme étant les seuls résistantes aux moisissures. Plus récemment grâce à l'appui et au financement du projet WAAPP en 2011, quatre nouvelles variétés lignées ont été créées et homologuées par l'ISRA, elles sont destinées au Centre-Sud du Sénégal qui sont : NGUINETHN (2-3 t /ha) ; DAROU (2,5-3 t/ha) ; FAOROU (2,5-3 t/ha) et NGANDA (2-3 t/ha). Et enfin, en 2015, deux nouvelles variétés lignées, GOLOBE (3,8 t/ha) et PAYENNE (3,5 t/ha) destinées au Centre Nord et Nord du Sénégal ont été homologuées par l'ISRA /CNRA de Bambey. Ces variétés résistantes sont utilisées par le programme de la sélection sorgho pour améliorer celles qui sont sensibles aux moisissures. Elles ont pour vocation la culture hivernale (Diouf, 2017).

I.7 Importance et utilisation du sorgho

Le sorgho [*sorghum bicolor* (L) Moenche] est une plante avec une grande diversité capable de s'adapter dans plusieurs régions du monde qu'elles soient tropicales ou tempérées (Diatta, 2011). Le sorgho a des besoins en eau pondérés. C'est une plante essentielle en Afrique et il fait toujours parti de l'un des aliments de base pour des centaines de millions de personnes. Il est aussi utilisé par les animaux et est entre comme matière première dans l'industrie et la confection des habitations. Le sorgho occupe une place importante dans l'agriculture de certains pays émergents et développés où il est principalement cultivé à des fins d'alimentation animale (Chantereau *et al.*, 2013). Plus de 95% des utilisations alimentaires du sorgho sont dans les pays d'Afrique et d'Asie (Diouf, 2017). Avec une production évaluée à 56 millions de tonnes en 2010. Dans cette même année le Nigéria a été le premier pays producteur mondial de sorgho avec un rendement bien élevé de 10,9 millions de tonnes soit (18%) montrer dans la Figure 5 ci-dessous. Il faut signaler que la culture du sorgho était peu soutenue dans le continent européenne où il ne représente que 1% de la production mondiale en 2010 (Planetoscope, 2012). Mais il y'a quelques années l'Europe a commencé à s'intéresser au développement du sorgho. C'est dans ce but qu'en 2017, le sorgho bénéficie d'une campagne de promotion financée par la commission européenne pour développer sa production. Dans ce même continent les agriculteurs l'utilisent pour diversifier les rotations de leurs cultures grâce à son adaptation

climatique pour afin préserver ou nourrir les sols pauvres
(<http://www.lemonde.fr/afrique/article/>).

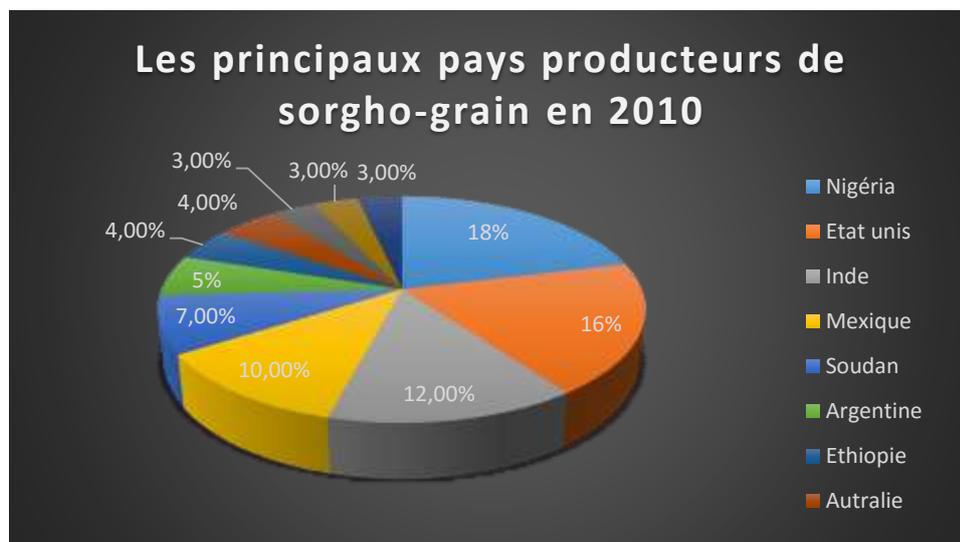


Figure 5 : Les principaux pays producteurs de sorgho dans le monde en 2010.

Source : (Planetoscope, 2012)

Le sorgho est surtout cultivé pour son grain. Selon le mode utilisation, on peut classer deux types de pays. Pour les pays en développement, le sorgho fait partie des denrées utilisées pour l'alimentation humaine. Dans ces pays, le sorgho est cultivé avec extensive avec peu d'intrants, qui résulte des rendements de l'ordre de 0,6 à 1 t/ha. Dans ces pays les grains sont utilisés entièrement ou finement broyés en farine pour en faire de la bouillie ou pâte, du couscous, des pains ou des beignets, des galettes ou selon ces caractères. Les grains de sorgho servent aussi à préparer de la bière. La culture du sorgho est aussi un débouché important dans ces zones de production (Chantereau et Nicou, 1991). Il sert aussi pour l'énergie renouvelable et également les résidus de récolte sont utilisés pour l'alimentation animale. Le sorgho est utilisé pour l'alimentation animale pour les pays développés. Ces derniers appliquent le système de culture intensif et combinant des semences hybrides les intrants et la gestion de l'eau en obtenant des rendements de 3 à 5 t/ ha (Planetoscope, 2012).

I.8 Bio agresseurs du sorgho

Les contraintes du sorgho sont dues à plusieurs facteurs. Parmi elles les plus essentielles sont liées aux insectes ravageurs, aux mauvaises herbes (surtout le *Striga*), aux oiseaux et aux maladies (Ndiaye *et al.*, 2005).

- Les insectes ravageurs

- La mouche des pousses : *Atherigona soccata*, elle pond, sur la partie inférieure des feuilles des jeunes plantes, des œufs isolés qui après l'éclosion, la larve attaque le méristème (bourgeon végétatif) qu'elle détruit, provoque ainsi le symptôme de « cœur mort » sur le sorgho.

- Les foreurs des tiges les (noctuelles), *Busseola fusca* et *Sesamia calamistis* et la pyrale *Chilo partellus*. Ce sont les espèces lépidoptères les plus dommageables chez le sorgho en Afrique (Chantereau *et al.*, 2013).

- Cécidomyie : *Contarinia sorghicola* est signalée comme le premier ravageur le plus important de la culture du sorgho dans le monde. Au Sénégal le ravageur a reçu plus d'attention ces dernières années, certains insecticides ont été expérimentés pour les réduire (Gahukar, 1984). Il constitue l'ennemi majeur de cette culture avec des pertes en rendement pouvant atteindre 33 % (Dakouo *et al.*, 2005).

- les punaises des panicules : l'espèce la plus importante est *Eurystylus oldi*, qui cause de réels problèmes aux variétés améliorées de sorgho à panicule compacte. La pique cause des dégâts parfois très considérables jusqu'à plus de 80% de perte (Chantereau *et al.*, 2013).

- **Les adventices**

Le genre *Striga*, (*Striga hermonthica*) adventice héli parasite est une plante épiphyte inféodée à de nombreuses cultures vivrières en Afrique. C'est l'espèce la plus nuisible de la culture des céréales ; il cause beaucoup de dommages, pour seulement les cultures de sorgho et de mil, il peut détruire jusqu'à 7 millions de tonnes des cultures (Doumbia et Thomas).

- **Les oiseaux**

Les oiseaux, par leurs dégâts, peuvent constituer un problème sérieux, particulièrement lorsque la culture est une introduction ou une variété qui arrive à maturité beaucoup plus tôt ou plus tard que le type local. Ils ravagent les cultures, surtout à la phase de remplissage des graines. D'après Bruggers et Jaeger (1982), le travailleur à bec rouge (*Quelea quelea*) est l'un des plus nombreux et dangereux prédateur aviaire du monde. Il constitue une réelle menace pour le sorgho.

- **Les maladies**

En raison des fonctions assurées par les tiges et les racines, de nombreuses maladies causées par les microorganismes sont susceptibles d'attaquer le sorgho et font souvent plus d'impacts économiques sur la production des grains (Chantereau *et al.*, 2013). Les maladies les plus importantes du sorgho sont les moisissures, l'antracnose, les charbons, l'ergot,

l'helminthosporiose, la maladie des bandes de suie et la maladie des tâches ovales (Thakur *et al.*, 2007). Leurs conséquences se traduisent par des chutes de rendement car les grains ne seront pas bien remplis.

I. 9 Moisissures des grains de sorgho

I.9.1 Définition des moisissures

Les moisissures des grains causent une maladie qui provoque beaucoup de dégâts sur la culture du sorgho. Différentes expressions sont utilisées pour définir cette infection fongique des organes reproductifs du sorgho. Selon (Louvel, 1984), la moisissure des grains est une maladie ou une modification du grain suite à la mise en place d'un ou plusieurs genres de champignons parasites lors de la formation des grains. D'autres auteurs la décrivent comme endommagement des grains par plusieurs espèces fongiques de façon parasite et ou saprophyte avec le développement du grain avant la récolte (Thakur *et al.*, 2006). Les moisissures des grains sont reconnues comme le premier problème pathologique de la culture du sorgho dans le monde et en particulier au Sénégal (Louvel, 1984). Cependant les variétés modernes de sorgho sont plus sensibles aux attaques de ces moisissures car elles sont non photosensibles donc risquent de fleurir précocement. Ainsi les grains se remplissent en période des pluies abondantes, et cette humidité atmosphérique est favorable à l'installation des champignons. Par contre les variétés locales ont une maturité tardive. Vers le début de la saison sèche, les risques de colonisation par les moisissures sont faibles car l'humidité n'est pas propice pendant cette période (Séne, 2015 et Aheto *et al.*, 2017).

I.9.2 Manifestation des moisissures

L'attaque par les moisissures affecte aussi bien le rendement et la qualité des grains. Il faut signaler que les symptômes des attaques de moisissures est le changement de la couleur des grains et cela dépend du champignon, du niveau de maturité des grains (remplissage des grains à la maturité), et la sévérité de l'infection suite à la colonisation. Si le grain est sévèrement infecté il sera pleinement couvert de moisissure. S'il est infecté partiellement, il peut apparaître normal et décoloré. Ainsi, d'autres grains peuvent sembler être normales mais produisent des moisissures sur papier buvard après stérilisation (Thakur *et al.*, 2006).

I.9.3 Développement des moisissures

La Figure 6 présente l'attaque des moisissures au champ qui se déroule de la floraison à la récolte des grains.

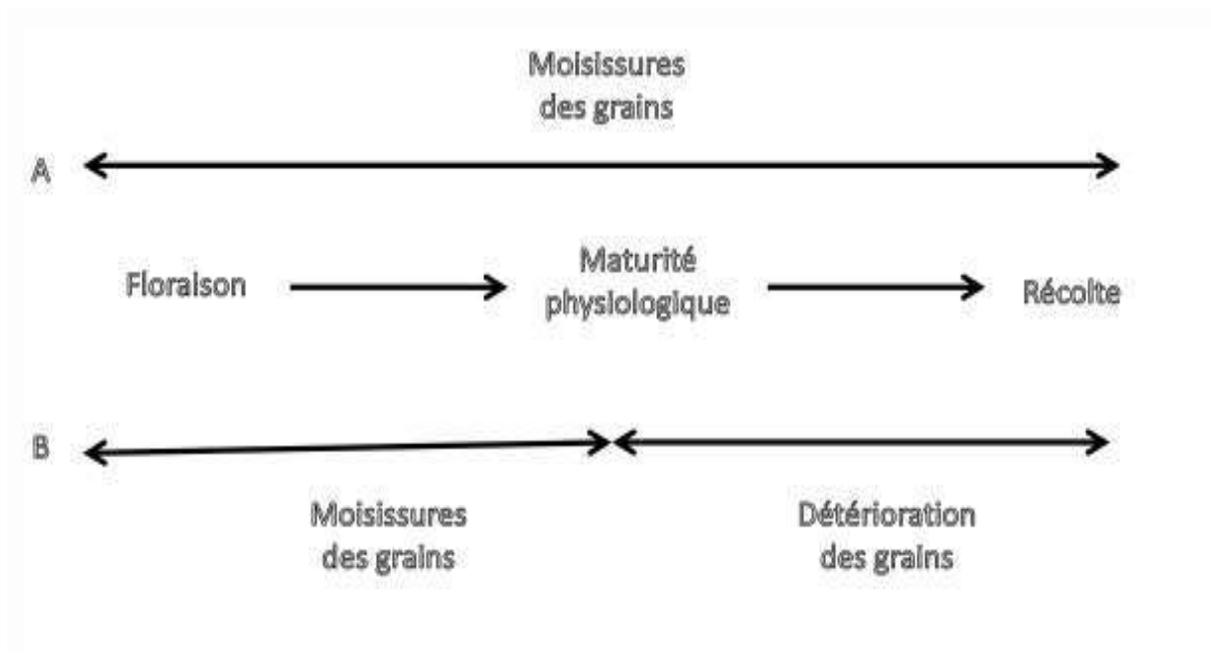


Figure 6 : Concepts de moisissure et détérioration des grains de sorgho. **Source** : (Forbes *et al.*, 1992)

Si la particularité génétique des plantes joue un rôle dans l'intensité et la présence des moisissures, les conditions de l'environnement qui prédominent de l'épiaison à la récolte y font partie aussi. Si elles sont abordables dans ce cas il peut y avoir l'installation des agents pathogènes car les grains vont mûrir en période de forte hygrométrie. Une température entre 25°C et 35°C est favorable pour une infection et un développement des moisissures. L'exposition des panicules fréquente aux pluies ou une irrigation aérienne pendant la phase de croissance des grains participent à maintenir l'humidité relative élevée, ce qui est avantageuse aussi pour le développement des microorganismes. Cet humidité facilite dans les panicules la germination de spores en état de dormance qui vont produire un mycélium et par conséquent tous les tissus du grain seront colonisés par les champignons (Gbedie, 2016). En dehors des conditions de l'environnement et la particularité génétique il y a aussi les facteurs biotiques comme les insectes en particulier les punaises qui peuvent être des vecteur de transmission des agents pathogènes d'une plante à l'autres à la recherche de nourriture. Cela est très dépressif sur la qualité de l'embryon. La présence et la multiplication de ces moisissures ont sur le grain plusieurs effets :

- Altération plus ou moins prononcée de l'aspect du grain ;
- modification des qualités technologiques et alimentaires ;

- présence possible de mycotoxines produites par *Fusarium* ;
- dépréciation, pouvant être très important, de la qualité des semences ;
- transmissions de la maladie par grains (Louvel, 1984).

Toutefois les températures inférieures à 20°C et les temps secs ne privilégient pas l'augmentation des moisissures (Thakur *et al.*, 2007). La durée du cycle de développement des moisissures varie entre 24h et 48h. La Figure 7 ci-dessous montre un exemple de cycle de développement des moisissures.

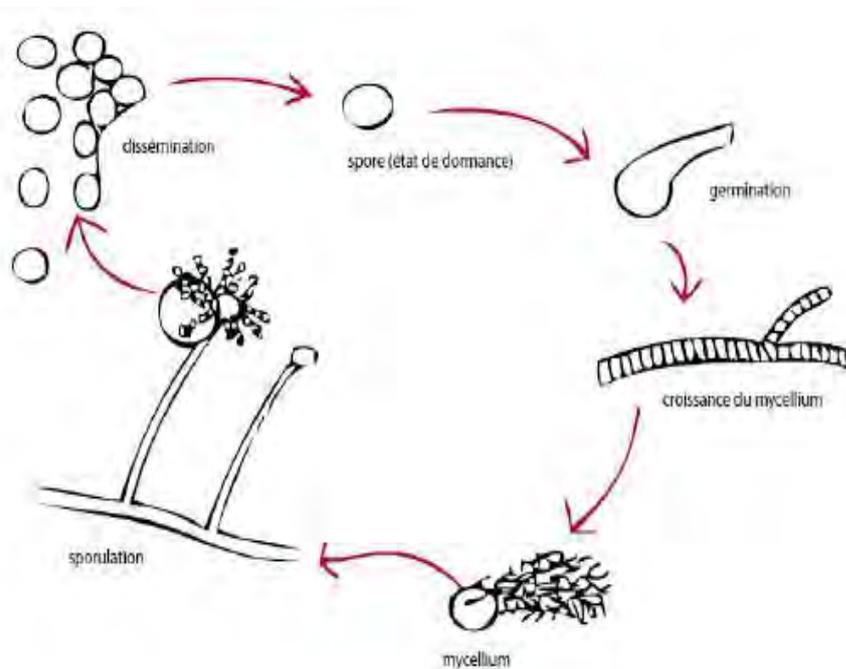


Figure 7 : Cycle de développement des moisissures. **Source** : (Antoine;2010)

I.9.4 Agents responsables de la moisissure des grains

Bandyopadhyay *et al.* (2000) et Diouf (2017) mentionnent que plus de 40 genres des champignons, sont aux groupes des moisissures du sorgho. Les moisissures des grains de sorgho sont la première difficulté reconnue pour la culture de cette plante dans le monde et particulièrement au Sénégal (Louvel, 1984 et Gbedie, 2016). Parmi ces champignons les genres les plus marquants au Sénégal sont : *Fusarium*, *Curvularia*. Chacun de ces deux genres peuvent infecter jusqu'à 100% des grains de panicule. Pour le *Fusarium* cinq espèces de son genre ont été identifiées au Sénégal : *F.moniliforme*, *F.solani*, *F.equiseti*, *F.flocciferum*, *F.sporotrichoide* (Louvel, 1984). En dehors de ces deux il y'a d'autres champignons qui contaminent aussi le sorgho *Alternaria alternata*, *Phoma sorghina*, *Helminthosporium*, *Bipolaris*, *Exserohilum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, et *Rhizoctonia sp.* Tous ces agents responsables des maladies citées attaquent la plantes dans des parties différentes. Les complexes fongiques qui contaminent les

plantules de sorgho sont : *Pythium sp*, *Fusarium sp*, *Rhizoctonia sp*, *Phoma*, *Aspergillus* responsable de la maladie de la fonte semis. Au niveau de la partie foliaire du sorgho il peut y avoir de nombreuses infections causées par des champignons différentes. La maladie des bandes de suie est causée par *Ramulispora sorghi*, la maladie des grains de sable est par *Ascochyta sorghina*, *Puccinia purpurea*, est responsable de la rouille. L' Anthracnose est causé par le *Colletotrichum* (Chantereau *et al.*, 2013).

I.9.5 Effets des champignons sur la semence du sorgho

En sélection du sorgho ce problème des champignons a un côté nuisible. Car ils sont les espèces les plus dommageables sur la qualité de la semence. C'est difficile de les distinguer s'ils ont infecté profondément les tissus de la graine. Le *Fusarium* et le *Curvularia* peuvent infecter les tissus embryonnaires du fait que leur contamination s'effectue dès l'anthèse. Ainsi la semence présente un caractère sain et au laboratoire sur papier de filtre la germination peut sembler bonne mais une fois sur le terrain le taux de germination et la vigueur à la levée ne se présentent pas bien. En ce temps-là l'observation à l'œil nu ne permettra d'éliminer que les phénotypes moisissés et ne donne pas l'information sur la qualité de la semence (Louvel, 1984).

I.9.6 Effet des moisissures sur la santé

Bien vrai que les moisissures se trouvent dans l'atmosphère, elles sont saprophytes et se développent au détriment de beaucoup de matériaux (papiers, bois, aliments, peau, phanères), les concentrations élevées peuvent causer des effets néfastes pour la santé de l'homme, car parfois elles peuvent être opportunistes en parasitant l'organisme de l'hôte. De nombreuses composantes pathogènes et fongiques sont capables de provoquer des effets nocifs chez un individu exposé dont les défenses sont affaiblies. Les moisissures libèrent des toxines dont la toxicité peut durer longtemps. Par conséquent absorber ou avaler un fragment mycélien ou des spores présentes dans l'atmosphère ou dans les aliments (grains de sorgho) peuvent provoquer des réactions allergiques telles que la rhinite allergiques, l'asthme, des réponses immunitaires nocives (Antoine,2010). Les moisissures ont aussi des conséquences sur les animaux. Elles présentent une préoccupation sur la croissance. Par sa nature nuisible les doses subaiguës des mycotoxines que produisent certaines champignons sur l'alimentation des animaux réduisent le taux de croissance que prédisposent les animaux. La teneur en mycotoxines des grains contaminés pendant la récolte augmente lorsque les grains sont stockés (Forbes *et al.*, 1992).

I.9.7 Effets des moisissures sur l'économie

Les dégâts causés par la moisissure des grains sont directement reliés aux pertes de la masse des grains, de la densité des graines, de la germination des graines, de la qualité de stockage, de la qualité de transformation des denrées alimentaires et des aliments pour les animaux. C'est aussi associés aux valeurs marchandes de ces grains ce qui diminue les prix dans le marché entraînant ainsi des pertes économiques pour les producteurs agricoles (Thakur *et al.*, 2006). Les pertes dues aux champignons sur la production de sorgho varient entre 30% à 100% selon le cultivar en fonction des conditions météorologiques entre la floraison et la récolte. Il est difficile de préciser les pertes causées par la maladie des moisissures parce qu'elles incluent l'estimation des pertes de la production à la commercialisation et en dernier lieu l'utilisation du grain ou des semences. Selon les recherches de ICRISAT, (1992) la perte économique due à la moisissure du sorgho en Asie et en Afrique a été estimée à 130 millions de dollars.

I.9.8 Gestions des moisissures

La gestion des moisissures des grains est un problème très complexe puisqu'il existe toujours une relation entre les agents pathogènes et l'environnement. Néanmoins de nombreuses méthodes de contrôle des moisissures de grains ont été expérimentées dans le passé ; mais jusque-là nulle méthode de contrôle n'a été jugée efficace. Traditionnellement pour éviter l'attaque par les moisissures, les agriculteurs cultivaient des cultivars sensibles à la photopériode lesquels leurs maturités se fait pendant le début de la saison sèche juste après la fin des pluies. C'est vrai que pendant cette période les risques de contamination sont faibles, mais l'indice de récolte est faible car les cultivars souffrent de sécheresse terminale. Mais ce n'est pas praticable dans la plupart des zones en raison de la difficulté d'une saison de croissance limitée des plantes. Cependant d'autres méthodes expérimentales, telles que les fongicides chimiques ont été utilisées pour réduire l'infection des moisissures des grains. Bien que les méthodes sont efficaces mais le coût économique très élevé et la faisabilité technique au niveau des champs présentent aujourd'hui un problème. Certains agriculteurs utilisent la lutte biologique pour contrôler la moisissure des grains en cultivant des variétés à tanins élevés ou des cultivars à grains colorés (avec testa pigmenté) qui sont tolérants à l'infection des champignons. Mais ces variétés ne plaisent pas aux utilisateurs humains et aux animaux. Ainsi la méthode génétique qui est l'utilisation des cultivars résistants semble être l'une des méthodes les plus économiquement viables et constitue une stratégie efficace de gestion des moisissures du grain de sorgho (Thakur *et al.*, 2007). C'est pour ces raisons, que les programmes de

recherche en particulier celui de sorgho du Sénégal est concentrés sur la création de variétés résistantes aux moisissures des grains (Diatta, 2016).

II.10 Amélioration du sorgho pour la résistance aux moisissures des grains au Sénégal

L'amélioration du sorgho pour la résistance aux moisissures au Sénégal a commencé vers les années 1975. L'un des objectifs majeurs du programme d'amélioration du sorgho pour les zones Sud bassin arachidier et Sud du pays a été la création de variétés à cycle court (90 à 105 jours) résistantes aux moisissures. Une des stratégies utilisée été de développer des variétés spécifiques pour chaque zone et de jouer sur les cycles et la dormance des grains pour aboutir à une bonne résistance aux moisissures. Dans cette étude les résultats ont été l'identification des variétés IS-2327 comme résistante et IS-14332 et E35 comme tolérantes aux moisissures. En 1983, la variété F2-20, résistante aux moisissures du sorgho a été créée par l'ISRA et préconisée pour le bassin arachidier Sud et la Casamance (Diouf, 2017). Une évaluation des variétés introduites de sorgho à Niore et à Bambey en 2009 et en 2010, ont été permis identifier les variétés, SC719-11E, IS18760, RTx2911 et Suréño comme étant résistantes aux moisissures (Prom *et al.*, 2014). Ces variétés résistantes sont utilisées par le programme de la sélection sorgho pour améliorer celles qui sont sensibles aux moisissures.

CHAPIRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1 Présentation des sites d'étude

L'étude a été menée pendant la saison des pluies 2019 dans les stations d'expérimentales de l'ISRA de Sinthiou Malème (13°49'47'' latitude Nord et à 13°54'35'' longitude Ouest) et de Bambey (14°42' latitude Nord ; 16°28' longitude Ouest). La figure 8 présente les deux sites d'étude.

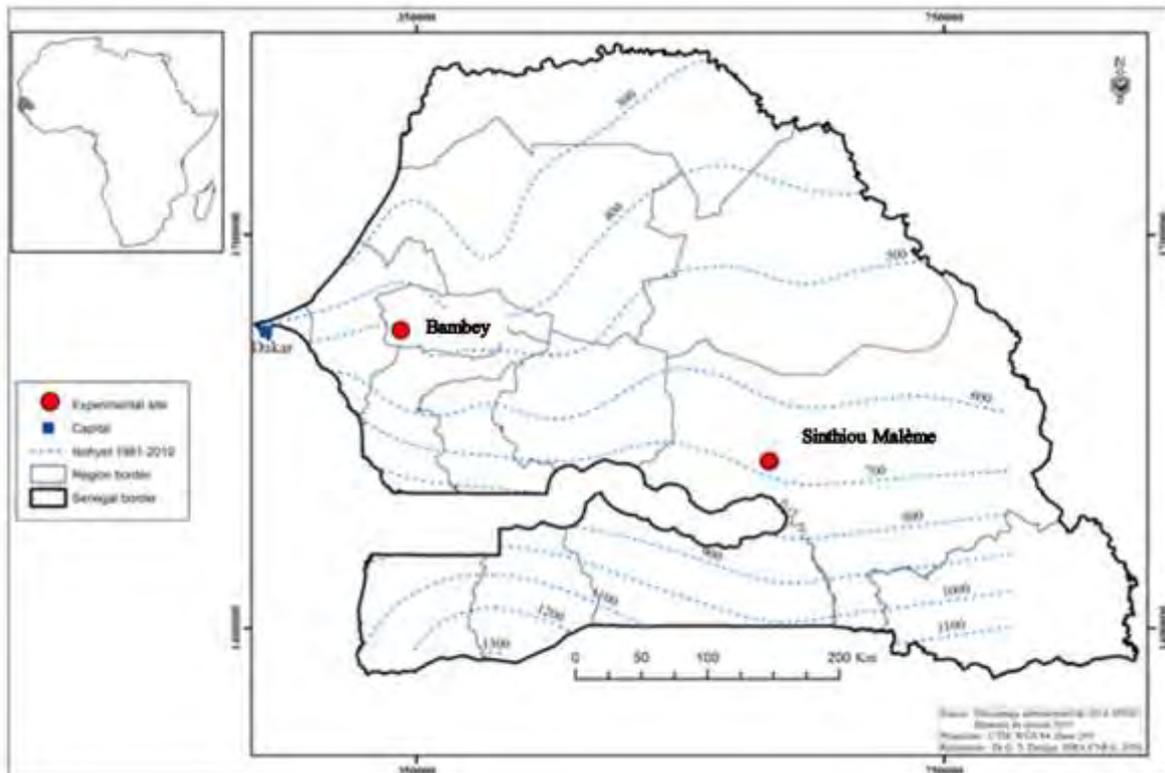


Figure 8 : Localisation des sites d'étude.

A La station expérimentale de Sinthiou Malème

Le climat est de type soudano-sahélien et il est caractérisé par deux saisons : une saison pluvieuse qui va du mois de juin au mois d'Octobre et une saison sèche qui va du mois de Novembre au mois de Mai. Cette dernière est caractérisée par l'harmattan, un vent chaud et sec s'accompagnant de sable, particulier entre le mois de Mars et le mois de Mai. Le relief est plat, marqué par quelques dépressions. Le sol est de type sablo-argileux (Diouf, 2017). Le climat de cette localité induit des températures qui varient entre 35 et 40 °C du mois de Mars au mois de Mai contre 20 à 28 °C entre le mois de Novembre et Février (Gbedié, 2016). Lors de notre expérimentation (du 1^{er} aout au 20 novembre 2019), le cumul pluviométrique enregistré au niveau de la station a été 507,1 mm. Les mois les plus pluvieux étaient le mois aout et septembre

avec respectivement 138, 6 mm et 205,5 mm. La Figure 9 ci-dessous montre les moyennes décadaires de la pluviométrie enregistrées durant notre expérimentation.

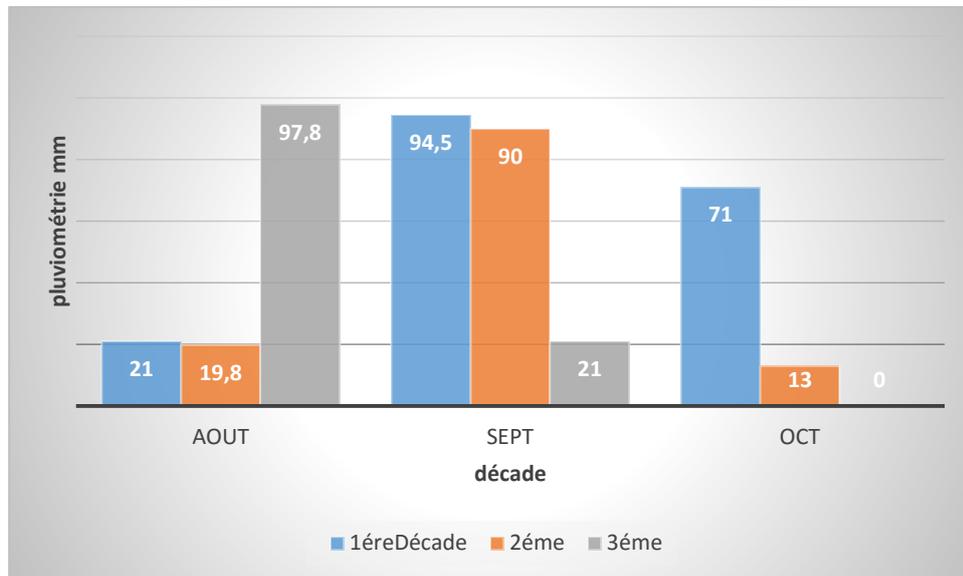


Figure 9: Moyennes décadaires de la pluviométrie à la station de Sinthiou Maléme durant la période de l'expérimentation.

B. La station expérimentale de Bambey CNRA

Le climat de la localité est caractéristique de la zone soudano-sahélienne. Le sol du site expérimental est de type ferrugineux tropical, localement appelé sol « Dior ». Les variations décadaires de la température, de l'humidité relative et de la pluviométrie pendant la période de l'essai sont représentées dans les figures 10,11 et 12 ci-dessous. Les températures minimales enregistrées durant l'essai ont varié de 21,36 à 25,42 °C et les maximales de 31, 85 à 37,95°C. Les humidités relatives ont varié de 28 à 69, 45 % pour les minimales et de 81, 8 à 100 % pour les maximales. Pendant l'expérimentation, le cumul pluviométrique enregistré au niveau du site de Bambey était de 103,2 mm. Les mois les plus pluvieux étaient le mois août (22,7 mm) et le mois septembre (19,15 mm).

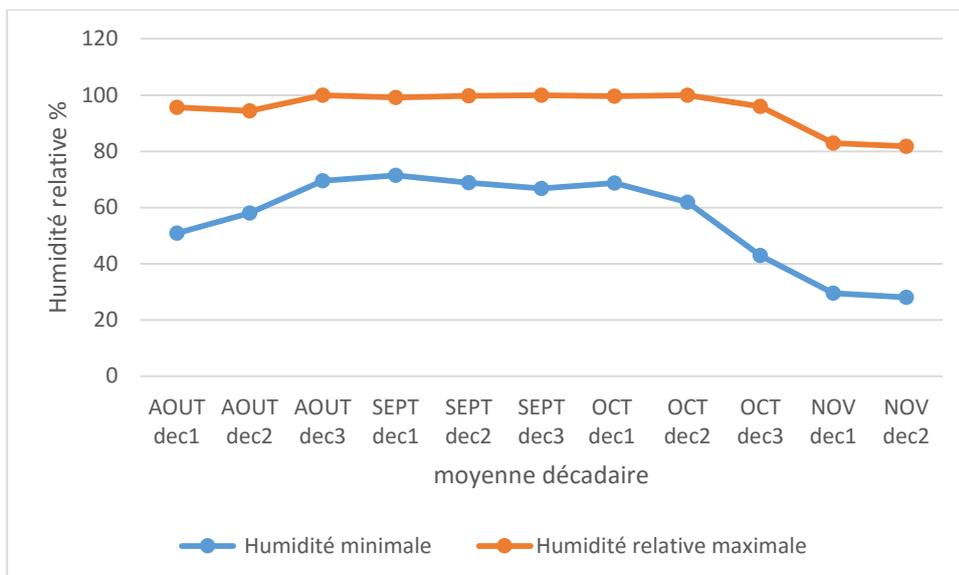


Figure 10 : Moyennes décadaires de l'humidité relative à Bambeï en hivernage 2019

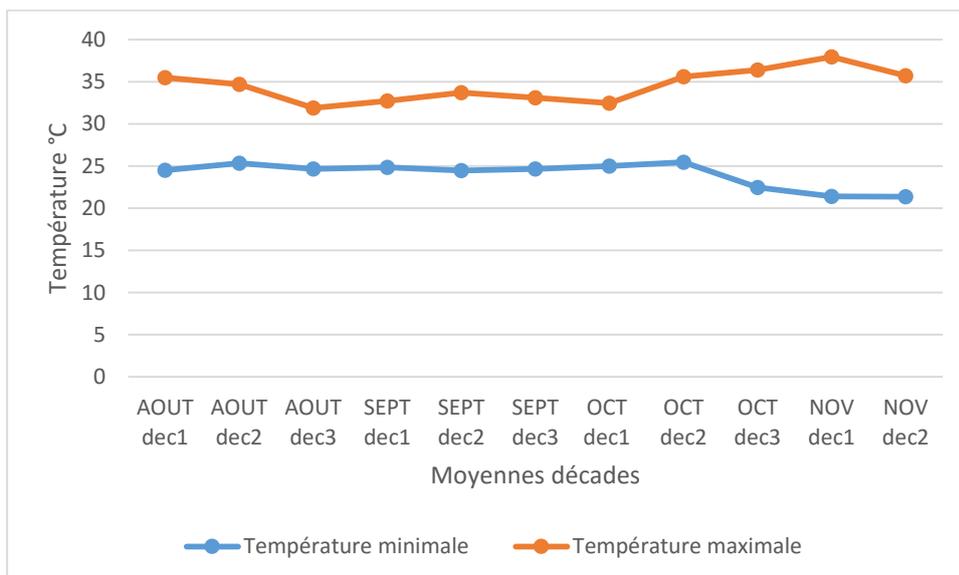


Figure 11 : Moyennes décadaires de la température à la station de Bambeï en hivernage

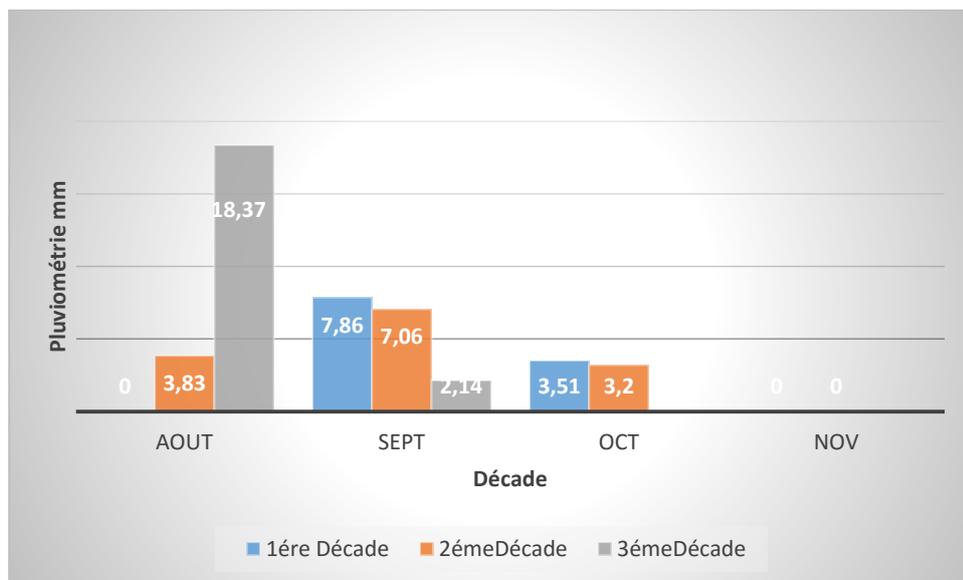


Figure 12: Moyennes décadaires de la pluviométrie à la station expérimentale du CNRA de Bambey pendant la saison des pluies 2019

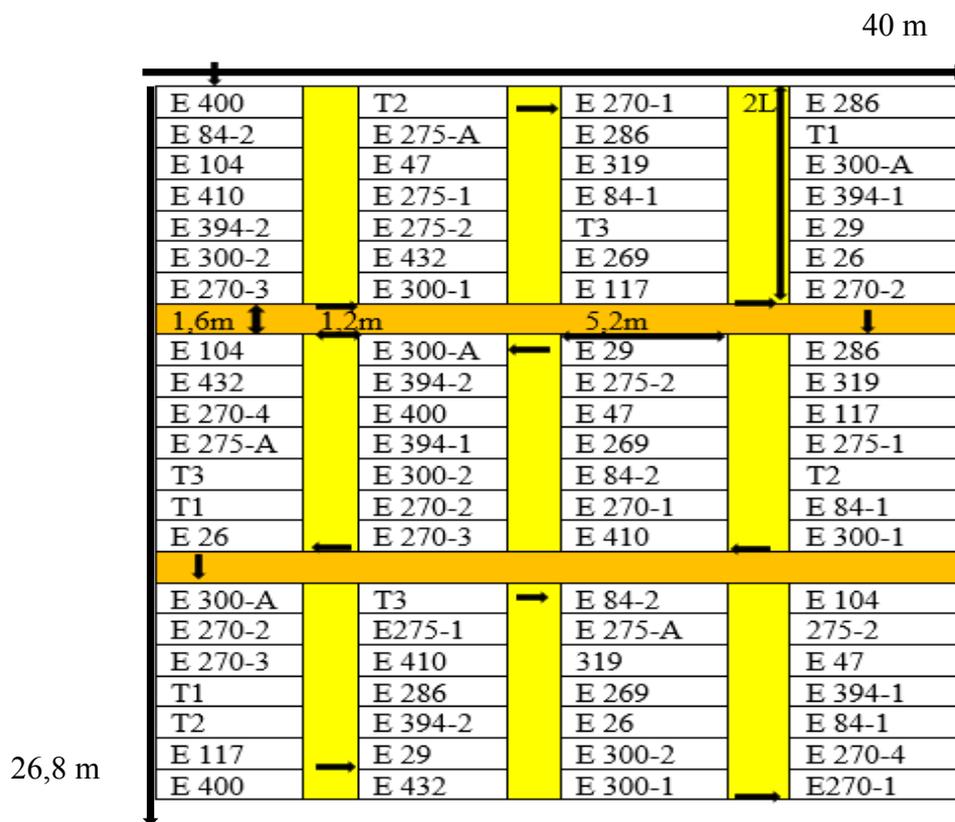
II.2 Matériel végétal

Le matériel végétal de cette étude a été constitué de 25 lignées F7 issues du croisement entre Nganda et Sureño et ayant héritées des QTLs de tolérance aux moisissures des grains (Diatta, 2016). Ces lignées sont évaluées en présence des témoins Payenne (T1), Nganda (T2) et Sureño (T3). Les variétés Payenne (T1) et Nganda (T2) ont été caractérisées par une bonne productivité et résistantes aux moisissures des grains. Elles ont été créées au Sénégal. Pour la variété Sureño (T3) a été caractérisée par une très bonne résistante aux moisissures des grains. Elle provient des Etats Unis.

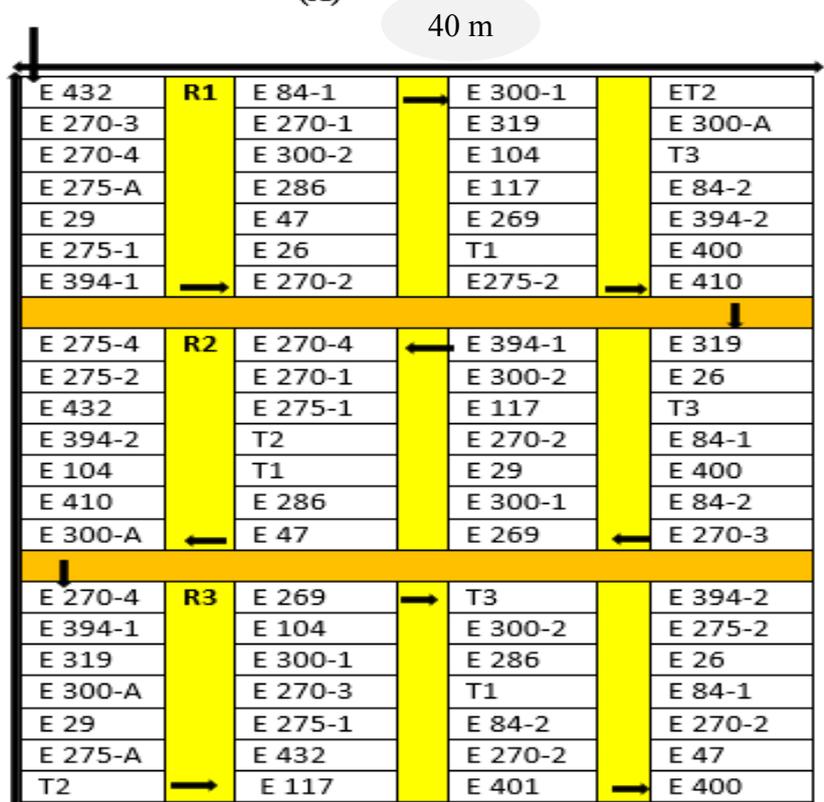
II.3 Méthodologie

II.3.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental en blocs incomplet randomisés de type *alpha Lattice* avec trois (3) répétitions a été utilisé. Il a été constitué en quatre (4) blocs de sept (7) parcelles élémentaires. Ainsi, chaque répétition a compté 28 parcelles élémentaires. La parcelle élémentaire a compris 2 lignes de 5,2 m de long semées à plat aux écartements de 0,80 m entre les lignes et de 0,40 m entre les poquets sur la ligne. Des allées de 1,2 m de large entre les blocs et de 1,6 m entre les répétitions ont été dégagées. Ainsi, l'essai a couvert une surface totale de 1072 m². Le même dispositif a été utilisé aussi bien à Bambey qu'à Sinthiou Malème comme présenté dans la Figure 13.



(A)



(B)

Figure 13: Plan du dispositif expérimental : (A) = Bambey, (B) = Sinthiou Maléme

II.1.2 Conduite de l'essai

Après le nettoyage de la parcelle, un labour de 15 à 20 cm de profondeur a été effectué à l'aide d'un tracteur suivi d'un hersage pour avoir un bon lit de semis. Des piquets ont été utilisés pour délimiter les parcelles et un rayonneur pour tracer les écartements. Le semis a été effectué le 29 juillet à Bambey et le 01^{er} août 2019 à Sinthiou à raison de 5 à 10 grains par poquets. L'engrais de fond NPK (15-15-15) a été appliqué à la dose de 150 kg/ha le 31 juillet à Bambey et à Sinthiou. Le démariage à trois plants par poquets a été effectué le 15^{ème} JAS (15 août à Sinthiou et 19 août à Bambey). Le premier sarclo binage mécanique et manuelle ont été effectué respectivement le 14^{ème} JAS (14 Août à Sinthiou et 18 Août à Bambey) et le 38^{ème} JAS ou (7 septembre pour Sinthiou et 4 septembre pour Bambey). L'urée (46-0-0) a été utilisée à la dose de 50 kg/ha en deux apports comme engrais de couverture au démariage 28 août (28^{ème} JAS à Sinthiou et au 31^{ème} JAS à Bambey) et à la montaison le 10 septembre (41^{ème} JAS à Sinthiou et le 44^{ème} JAS à Bambey). Le deuxième sarclo binage mécanique a été fait le 20^{ème} JAS (20 août à Sinthiou et 23 août à Bambey) et pour le sarclo binage manuel au lendemain du deuxième apport de l'urée le 42^{ème} JAS. Pour la protection de l'essai un gardiennage a été effectué durant les premières semaines après le semis pour éviter les attaques des oiseaux et des rongeurs. Il a été repris de la floraison jusqu'à la fin des récoltes. La récolte a été faite à la maturité physiologique en évitant les poquets de bordures. Le séchage des panicules a été fait au niveau de l'aire séchage pendant deux semaines et a été suivi d'un battage manuel.

II.1.3 Battage et conservation des grains

Le battage a été fait de façon manuel. Les panicules de sorgho ont été introduites dans un petit sac en tissu. Le battage a été effectué à l'aide d'un bâton jusqu'à ce que les panicules soient débarrassées de leurs grains. Cette opération a été suivie d'un vannage qui permet de séparer les grains des divers résidus de la panicule (glumes, glumelles, rachis et autres débris). Les grains ont été ensuite conditionnés dans des sachets, puis gardés au niveau de la chambre froide après que tous les paramètres post-récoltes ont été pris.

II.1.4 Observations et mesures

Les données agro-morphologiques ont été collectées en s'aidant des descripteurs sorgho éditer par (IBPGRI, ICRISAT, 1993). Les mesures ont été réalisées sur cinq plants centraux aléatoirement choisis par parcelle.

✓ Observations phytopathologiques

L'attaque par les moisissures a été évaluée au champ dans les conditions naturelles et, après le battage des panicules.

-Score moisissure à la maturité physio-logique (ScMMP) : l'évaluation a été faite selon une échelle de notation de 1 à 5 (Thakur et al., 2007) ou 1 = pas de grains attaqués et 5 = plus de 50% des grains de la panicule ont été attaqués. Ces observations ont été faites au champ un score de sévérité de l'attaque a été donné à chacune des panicules observées dans chaque parcelle. Puis le score moisissure moyen de la parcelle à la maturité physiologique a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{ScM} = \Sigma (\text{Xi} \times \text{Ni}) / \text{Nt}$$

Où :

Ni = Nombre de plantes présentant la sévérité *i*;

Xi = Sévérité de la maladie (note);

Nt = Nombre totale de plantes observées.

Tableau 1 : Echelle de notation de la sévérité de la maladie. **Source** : (Thakur et al., 2007)

Notation	Echelle	Classification
1	Pas de grains attaqués sur la panicule	Très résistant
2	$1 \leq \% \text{ de grains attaqués sur la panicule} \leq 10$	Résistant
3	$11 \leq \% \text{ de grains attaqués sur la panicule} \leq 25$	Moyennement résistant
4	$26 \leq \% \text{ de grains attaqués sur la panicule} \leq 50$	Sensible
5	$50 < \% \text{ de grains attaqués sur la panicule}$	Très sensible



Figure 14 : Symptômes des moisissures sur les grains de sorgho, (A) = à la formation des grains, (B) = à la maturité physiologique, (C) = en boîte de Pétri.

-Score moisissure après battage (ScMAB) : toutes les panicules d'une parcelle ont été battues ensemble. Ainsi, les observations ont été faites sur l'ensemble des grains de chaque parcelle. Un échantillon de grain a été prélevé puis comparé à des échantillons de références constitués

cet effet (Figure 15).

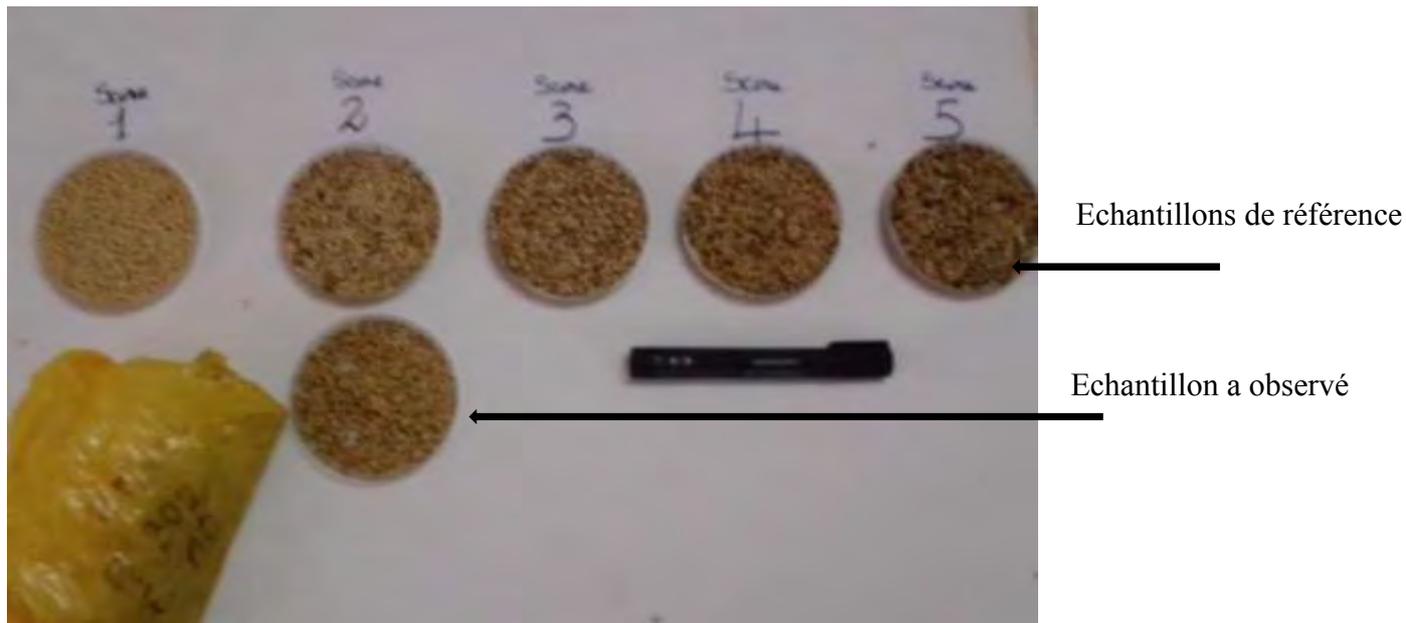


Figure 15 : Observation des moisissures après battage des panicules.

- **Observations et mesures agro-morphologiques**

Pour les paramètres agro morphologiques 2 ont été observé et 6 mesurés. Les variables observées concernaient la date de 50% de floraison et la texture de l'endosperme des grains. Les variables mesures étaient liées à la hauteur de la plante, la longueur et le diamètre de la panicule, le nombre de poquets et de panicule récoltés, le poids des panicules, le poids grains le poids mille grains.

- **Paramètres observés**

- La date de 50% floraison (DSF) a été prise quand les panicules de 50% des plants de la parcelle élémentaire ont été commencées à fleurir. Pour décrire nos lignées l'échelle d'évaluation a été la suivante : très précoce = < 56 jours, précoce = 56-65 jours, moyen = 66-75 jours, tardif = 76-85 jours, très tardif = > 85 jours.

- La texture de l'endosperme (TEnd) a été évaluée après battage sur un échantillon de 10 grains. L'observation a été portée sur la face interne du grain longitudinalement coupé en deux morceaux à l'aide d'une lame. Elle correspond à la proportion de la partie cornée et la partie farineuse de l'endosperme. Elle donne une indication sur la dureté, la susceptibilité à la brisure du grain et la qualité de la farine. L'échelle de notation (Figure 16) est la suivante : 1= complètement cornée, 2 = presque cornée, 3 = intermédiaire, 4 = presque farineux, 5 = complètement farineux.

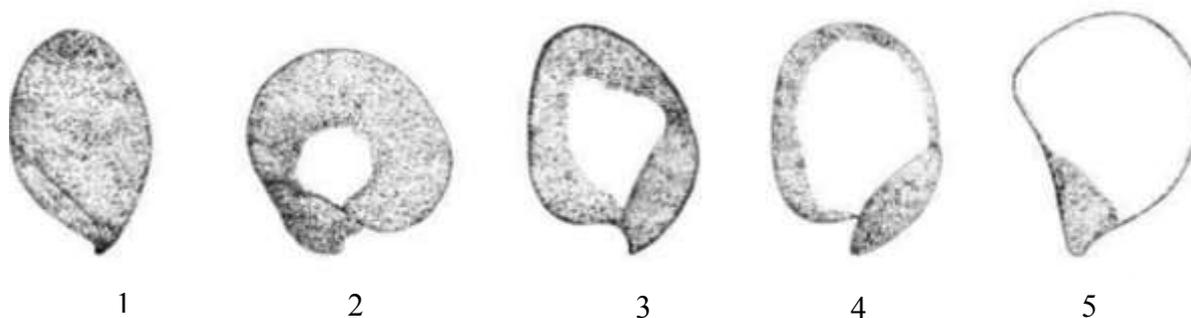


Figure 16 : Modalité de la texture endosperme des grains.

➤ **Paramètres mesurés**

- ✓ La hauteur de la plante (HPI) a été mesurée à la maturité physiologique à l'aide d'un bois gradué en (cm). Il s'agit de la distance allant du sol jusqu'à sommet de la panicule.
- ✓ Le diamètre de la panicule (DPan) a été la largeur de la panicule mesurée à l'aide d'un pied à coulisse gradué en (cm).
- ✓ La longueur de la panicule (LPan) Il s'agit de la distance allant de la position de l'insertion de la première grappe sur l'axe principale jusqu'au bout du bourgeon terminal. Elle a été mesurée à l'aide d'un ruban gradué en (cm).
- ✓ Les nombres des poquets récoltés (NPR) et les nombres des panicules récoltées (NPaR) ont été dénombrés lors de la récolte au champ.
- ✓ Le poids des panicules (PPan) et le poids des grains par parcelle (PGr)

Le poids des panicules a été pris après le séchage et le poids des grains est pris après le battage des panicules par le à l'aide d'un peson électronique de portée 0.1g et de marque Weiheng

- ✓ Poids de mille grains (PMG) par parcelle a été mesuré avec une balance de précision après le comptage des 1000 grains avec un compteur à grains électronique de type Numigral. L'échelle suivante est utilisée : très faible (< 16 g), faible (16-25 g), moyen (26-35 g), grand (36-45 g) et très grand (> 45 g).

➤ **Les paramètres calculés**

- ✓ Rendement (Rdt) en grains par parcelle

Le rendement en grains a été calculé après le pesage des grains par parcelle avec la formule suivante.

$$Rdt (kg/ha) = PGr * 10^{-3} / NPR \times 0.8 * 0.4 * 10^{-4}$$

Où :

NPR= Nombres de poquets Récoltés 0.8= écartement entre les lignes

$10^{-3}kg=1g$

0.4= distance entre les poquets sur une ligne

$$10^4 ha = 1 m^2$$

PGr = Poids Grains

- Les différents paramètres génétiques ont été calculés avec les formules suivantes :

- ✓ Les variations phénotypiques et génotypiques

$$V_G = (MSG - MSE)/R$$

$$V_P = V_G + (MSE/R)$$

$V_G =$ variance génotypique

$V_P =$ variance phénotypique

$MSG =$ moyenne carrée du génotype

$MSE =$ moyenne carrée d'erreur

$R =$ répétition

- ✓ L'héritabilité au sens large : $H^2 (\%) = (V_G/V_P) \times 100$

- ✓ Le gain génétique attendu : $G_S = H^2 \sigma_P K$

$$G_S (\%) = (G_S / \text{moyenne du variable}) * 100.$$

$\sigma_P =$ écartype du phénotype

$K = 0,5 =$ pression de la sélection

- ✓ Le coefficient de variation phénotypique et génotypique

$$CV_G (\%) = (\sigma_G / X) 100$$

$$CV_P (\%) = (\sigma_P / X) 100$$

$CV_P =$ coefficient de variation phénotypique

$CV_G =$ coefficient de variation génotypique

$\sigma_P =$ écartype du phénotype

$\sigma_P =$ écartype du génotype

$X =$ moyenne du variable

II.4 Collecte et analyse statistique des données

Les données agro-morphologiques et phytopathologiques ont été collectées à l'aide du logiciel FieldLab version 10. Les données climatiques dont la température, l'humidité relative et la pluviométrie ont été fournies par le laboratoire agro-climatologique du CNRA de Bambey. L'analyse de variance (ANOVA) l'analyse descriptive (statistiques descriptives) et la comparaison des moyennes (test Tukey) ont été faites par le logiciel R 3.2.3. Les valeurs d'estimation des paramètres génétiques ont été calculées par Excel. Les corrélations ont été faites par le logiciel IBM SPSS version 23. Les biplots ont été générés par le logiciel Minitab 17.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Résultats

III.1.1 La diversité au sein des lignées

Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) sur les paramètres quantitatifs chez le sorgho à Bambey et à Sinthiou Maléme sont représentés dans le Tableau 2 ci-dessous. L'analyse statistique a mis en évidence un effet hautement significatif du facteur Entrée considéré comme génotype pour toutes les variables étudiées. L'effet du facteur site a été aussi hautement significatif pour toutes les variables à l'exception du PMG et du Rdt. Par contre l'interaction Entrée x Site n'a été significative que pour les variables LPan et DPan.

Tableau 2 : Analyse de variance des paramètres quantitatifs du sorgho à Bambey et Sinthiou Maléme

Variables	Df	DSF	HPl	LPan	DPan	PPan	PGr	PMG	Rdt
Site	1	445,7***	921,0***	506,3***	28,2***	11798756***	4501877***	2,3	152942
Répétitions (Rép)	2	4,3	77,1	0,8	1,6***	746512	631792*	2,4	343687
Bloc	6	13,6	698,3*	9,8***	0,2	479207	187746	12,2**	357003
Entrée Génotypes	27	55,3***	5352,9***	22,0***	0,4***	1291285***	787529***	15,8***	1404776***
Rép (Bloc)	12	28,3**	403,8	4,0	0,2	1137738***	579395**	3,9	1245170**
Site (Rep)	2	10,9	1417,3**	5,1	0,4	2900564***	2101576***	17,7**	5334585***
Site x Entrée	27	9,6	291,4	3,5*	0,4***	499554	291945	4,9	605631
Erreur	88	10,0	261,9	2,1	0,2	327668	200353	3,2	516357

*** : probabilité < à 0,001, ** : probabilité < à 0,01 et * : probabilité < à 0,05, DSF : Durée de Semis à la Floraison, HPl : Hauteur de la Plante, LPan : Longueur de la plante, DPan : Diamètre de la Panicule, PPan : Poids des Panicules, PGr : Poids des Grains, PMG : Poids de Mille Grains et Rdt: Rendement en Grain.

III.1.2 Variabilités au sein des génotypes étudiés

L'analyse descriptive des données combinées montre que la durée de semi à la floraison (DSF) des différentes variétés a varié de 69 à 81 jours avec un coefficient de variation de 4,2 % pour une moyenne de 75 jours. La hauteur des plantes (HPL) a oscillé entre 135,3 et 250 cm présentant une moyenne de 240,2 cm et un coefficient de variation de 7,9 %. La longueur moyenne des panicules (LPan) et le diamètre moyen des panicules (DPan) sont respectivement

21,6 cm et 5,3 cm avec respectivement un minimum de 19,1 et 5 cm et un maximum de 27,3 et 6 cm. Le poids des panicules moyen (PPan) des lignées a été de 2197,3 g avec un minimum de 1177,7 g et un maximum de 3141,5 g pour un coefficient de variation de 26 %. Le poids des grains (PGr) a varié entre 817,3 et 2334 g avec une moyenne de 1487 g. Le poids de mille grains (PMG) moyen a été de 15,5g avec un minimum de 11,9 et un maximum de 18,7 g, pour un coefficient de variation de 11,4%. Le rendement en grain (Rdt) a varié de 1447,8 à 3505,1 kg/ha avec une moyenne de 2398,2 kg/ha et un coefficient de variation 29,9%. A la maturité physiologique, le score moisissure (ScMMP) des grains a varié de 1,8 à 2,5 avec une moyenne de 2,1 pour un coefficient de variation 9,9%. Après battage, une tendance similaire a été observée pour le score (ScMAB) qui varie de 2,2 à 3,6 avec un coefficient de variation de 23,5%. La moyenne de la texture de l'endosperme a été estimée à 4,4 avec une variation de 4 à 4,8 et un coefficient de variation de 8,5%. Le coefficient de variation (CV) sert à qualifier l'homogénéité d'une distribution. Le Tableau 3 d'analyse descriptive a montré que la distribution est homogène pour l'ensemble des variables étudiées à l'exception des poids du grain (PGr).

Tableau 3: Variabilité des lignées pour les différentes variables

VARIABLES	MINIMUM	MAXIMUM	MOYENNE	DEVIATION STANDARD	COEFFICIENT VARIATION
DSF	69	81	75	3	4,2
HPl	135,3	250	240,2	29,8	7,9
LPan	19,1	27,3	21,6	2,2	6,8
DPan	5	6	5,3	0,2	7
PPan	1177,7	3141,5	2197,3	458,9	26
PGr	817,3	2334,5	1487	356,3	30
PMG	11,9	18,7	15,5	1,6	11,4
Rdt	1447,8	3505,1	2398,2	467,2	29,9
ScMMP	1,8	2,5	2,1	0,1	9,9
ScMAB	2,2	3,6	2,7	0,3	23,5
TEnd	4	4,8	4,4	0,2	8,5

DSF : Durée de Semis à la Floraison, HPl : Hauteur de la Plante, LPan : Longueur de la Panicule, DPan : Diamètre de la Panicule, PPan : Poids des Panicule, PGr : Poids des Grains, PMG : Poids de Mille, Rdt : Rendement en Grains, ScMMP : Score Moisissure à la Maturité Physiologique, ScMAB : Score Moisissure Après Battage et TEnd : Texture Endosperme.

III.1.3. Performance des lignées pour les variables étudiées

III.1.3.1. Performance des lignées pour les variables agro morphologique

L'analyse du Tableau 4 de la comparaison des moyennes des variables étudiées révèle que les lignées E 84-2 et E 410 ont une différence significative avec les lignées E 432 ; E 400 ; E 394-1 ; 394-2 ; 300-A ; 300-2 ; 275-2 ; 270-4 ; T2 et T1 pour la durée de semis à la floraison. Par contre il n'y a pas de différence significative entre le témoin T3 et les lignées E 84-1 ; E 47 ; E 286 ; E 275-A ; E 300-1 ; E 29 ; E 275-1 ; E 270-2 ; E270-1 ; E 269 et E 26 pour la DSF. Les lignées E 432 ; E 400 et 391-1 ont une DSF comparable à celui du témoin T1. Les lignées E400 (250 cm) et E 47 (241,6 cm) ont une hauteur HPl plus longue que celui du témoin T3 (204,6 cm) qui a la hauteur la plus importante. La lignée E 394-1 a une longueur de panicule comparable à celle du témoin T2 qui présente la LPan la plus importante. La lignée E 207-1 présent un diamètre de panicule (DPan) comparable à celui du témoin T2 ; 5,7 cm. Pour le poids des panicules (PPan) la lignée E400 (3141,5 g) a un PPan plus élevé que celui du témoin T2 (2859,5 g) qui présente le poids panicule le plus important. La lignée E 400 (2334,5 g) présente encore un poids des grains (PGr) plus élevé que celui du témoin T1 (2048) g qui a le poids des grains le plus important. Pour le poids de mille grains (PMG) la lignée E 400 un PMG comparable au témoin T1. Pour le rendement en grains la lignée E 400 a un Rdt comparable à celui du témoin T2 qui a le Rdt le plus important.

Tableau 4 : Performance des 25 lignées pour paramètres agro morphologiques étudiés

ENTREE	DSF	HPI	LPan	DPan	PPan	PGr	PMGr	Rdt
E104	77 ^{abcd}	227,1 ^{abcde}	21,9 ^{fghi}	5,3 ^{ab}	2190 ^{abcdef}	1449,2 ^{abcd}	14,9 ^{abcde}	2006,3 ^{abc}
E117	80 ^{ab}	151,2 ^{jk}	24,3 ^{bcdef}	5,2 ^b	1880,8 ^{abcdef}	1012 ^{cd}	12 ^e	1727,6 ^{bc}
E26	75 ^{abcde}	217,3 ^{abcdefg}	24,2 ^{bcdefg}	5,2 ^b	2128,7 ^{abcdef}	1399,9 ^{abcd}	15 ^{abcde}	1939,4 ^{abc}
E269	74 ^{abcde}	233 ^{abcd}	22,5 ^{efghi}	5,2 ^b	2622,3 ^{abcde}	1715,3 ^{abcd}	13,2 ^{cde}	2491,7 ^{abc}
E270-1	76 ^{abcde}	185,7 ^{ghij}	24,6 ^{abcdef}	6,1 ^a	2671,3 ^{abcde}	1753,7 ^{abcd}	15,8 ^{abcde}	3161 ^{ab}
E270-2	76 ^{abcde}	199,8 ^{defgh}	23,2 ^{cdefghi}	5,4 ^{ab}	2366,2 ^{abcdef}	1607,5 ^{abcd}	16,7 ^{abcd}	25792 ^{abc}
E270-3	77 ^{abcd}	177 ^{hij}	23,2 ^{bcdefghi}	5,4 ^b	2414,3 ^{abcdef}	1631,3 ^{abcd}	16,2 ^{abcd}	2669,6 ^{abc}
E270-4	73 ^{bcde}	184,9 ^{ghij}	24,2 ^{bcdefg}	5,6 ^{ab}	2590,2 ^{abcde}	1673,5 ^{abcd}	16,8 ^{abc}	2552,1 ^{abc}
E275-1	75 ^{abcde}	223,0 ^{abcdef}	21,8 ^{fghi}	5,4 ^{ab}	2248,8 ^{abcdef}	1571,3 ^{abcd}	15,7 ^{abcde}	2453,8 ^{abc}
E275-2	74 ^{bcde}	183,8 ^{ghij}	21,7 ^{fghi}	5,3 ^{ab}	1999,7 ^{abcdef}	1258,8 ^{bcd}	15,6 ^{abcde}	1958,5 ^{abc}
E275-A	78 ^{abc}	212,6 ^{bcdefgh}	22,3 ^{fghi}	5,4 ^{ab}	2069 ^{abcdef}	1564,2 ^{abcd}	15,1 ^{abcde}	2440,5 ^{abc}
E286	79 ^{abc}	196,2 ^{efgh}	21,4 ^{ghi}	5,5 ^{ab}	2046,3 ^{abcdef}	1337,8 ^{bcd}	16 ^{abcd}	2405 ^{abc}
E29	74 ^{abcde}	223,1 ^{abcdef}	25,7 ^{abcde}	5,4 ^{ab}	2346,8 ^{abcdef}	1609,3 ^{abcd}	16,2 ^{abcd}	2679,3 ^{abc}
E300-1	74 ^{abcde}	234,6 ^{abcd}	20,4 ^{hi}	5,3 ^{ab}	2234 ^{abcdef}	1580,4 ^{abcd}	15,4 ^{abcde}	2366,6 ^{abc}
E300-2	73 ^{bcde}	235 ^{abcd}	20,3 ⁱ	5,6 ^{ab}	1177,7 ^f	817,3 ^d	17 ^{abc}	2694,3 ^{abc}
E300-A	73 ^{bcde}	237 ^{abc}	21,4 ^{fghi}	5,3 ^{ab}	2126,7 ^{abcdef}	1589,7 ^{abcd}	16 ^{abcd}	2935,6 ^{abc}
E319	76 ^{abcd}	234,8 ^{abcd}	21,5 ^{fghi}	5,4 ^{ab}	2202,5 ^{abcdef}	1514,5 ^{abcd}	16,1 ^{abcd}	2297,8 ^{abc}
E394-1	71 ^{de}	219,2 ^{abcdefg}	27,6 ^a	5,2 ^b	3012,5 ^{ab}	2041,5 ^{ab}	18,2 ^{ab}	2797,5 ^{abc}
E394-2	74 ^{bcde}	156,1 ^{ijk}	26,4 ^{abc}	4,9 ^b	1565,8 ^{def}	1029,3 ^{cd}	15,4 ^{abcde}	1778,9 ^{bc}
E400	72 ^{cde}	250 ^a	21 ^{ghi}	4,8 ^b	3141,5 ^a	2334,5 ^a	18,7 ^a	3505,1 ^a
E410	81 ^a	200,8 ^{cdefgh}	22,6 ^{defghi}	5,1 ^b	1794,6 ^{bcdef}	1101,2 ^{bcd}	12,6 ^{de}	1966,9 ^{abc}
E432	72 ^{cde}	160 ^{ijk}	26,4 ^{abc}	5 ^b	2149,3 ^{abcdef}	1459 ^{abcd}	14,6 ^{bcde}	2192,2 ^{abc}
E47	78 ^{abc}	241,6 ^{ab}	24,1 ^{bcdefg}	5,1 ^b	1956,2 ^{abcdef}	1303,3 ^{bcd}	15,1 ^{abcde}	2173 ^{abc}
E84-1	79 ^{abc}	222,8 ^{abcdef}	23,6 ^{bcdefgh}	5,4 ^{ab}	1798,7 ^{bcdef}	1230,5 ^{bcd}	15,6 ^{abcde}	2305,5 ^{abc}
E84-2	81 ^a	135,3 ^k	23,5 ^{bcdefghi}	5 ^b	1443,2 ^{ef}	876,5 ^d	13,6 ^{cde}	1447,8 ^c
ET1	69 ^e	189,7 ^{fghi}	25,9 ^{abcd}	5,2 ^b	2817,5 ^{abcd}	2048,8 ^{ab}	18,4 ^{ab}	2776 ^{abc}
ET2	73 ^{bcde}	181,4 ^{hij}	26,4 ^{ab}	5,7 ^{ab}	2859,5 ^{abc}	1994,3 ^{abc}	16,8 ^{abc}	3060,1 ^{ab}
ET3	79 ^{abc}	204,6 ^{cdefgh}	22,2 ^{fghi}	5,2 ^b	1670 ^{cdef}	1132,2 ^{bcd}	13,2 ^{cde}	1787,5 ^{bc}

DSF : Durée de Semis à la Floraison, HPI : Hauteur de la Plante, LPan : Longueur de la Panicule, DPan : Diamètre de la Panicule, PPan : Poids des Panicules, PGr : Poids des Grains, PMG : Poids de Mille, Rdt : Rendement en Grain.

III.1.3.2. Performance des lignées pour les variables phytopathologique

La plupart des lignées ont une réponse comparable à celles des témoins pour le variable du score moisissure à la maturité physiologique sauf les lignées E 300-1 et E29. Aucune différence significative n'a été notée entre les lignées et les témoins pour les variables du score moisissure après battage et de la texture endosperme.

Tableau 5 : Performance 25 des lignées pour les paramètres phytopathologiques étudiées.

ENTREE	SCMMP	SCMAB	TEND
E104	2 ^{bc}	2,9 ^a	4,3 ^{ab}
E117	2 ^{bc}	2,5 ^a	4 ^{ab}
E26	2,2 ^{abc}	2,8 ^a	4,3 ^{ab}
E269	2 ^{bc}	3 ^a	4,5 ^{ab}
E270-1	2 ^{bc}	2,8 ^a	4,3 ^{ab}
E270-2	2 ^{bc}	2,5 ^a	4,3 ^{ab}
E270-3	2 ^{bc}	2,8 ^a	4,8 ^a
E270-4	2 ^{bc}	2,3 ^a	4,5 ^{ab}
E275-1	2 ^{bc}	2,8 ^a	4,5 ^{ab}
E275-2	2,2 ^{abc}	2,8 ^a	4,5 ^{ab}
E275-A	2 ^{bc}	3,3 ^a	4,5 ^{ab}
E286	2 ^{bc}	2,8 ^a	4,3 ^{ab}
E29	2,5 ^a	2,8 ^a	4,5 ^{ab}
E300-1	1,8 ^c	2,2 ^a	4,2 ^{ab}
E300-2	2 ^{bc}	2,3 ^a	4,7 ^{ab}
E300-A	2 ^{bc}	2,5 ^a	4,2 ^{ab}
E319	2 ^{bc}	2,5 ^a	4,3 ^{ab}
E394-1	2 ^{bc}	2,3 ^a	4,5 ^{ab}
E394-2	2,2 ^{abc}	2,3 ^a	4,2 ^{ab}
E400	2 ^{bc}	2,8 ^a	4,3 ^{ab}
E410	2,2 ^{abc}	3,6 ^a	4,8 ^{ab}
E432	2,3 ^{ab}	3,3 ^a	4,3 ^{ab}
E47	2,2 ^{abc}	2,7 ^a	4,5 ^{ab}
E84-1	2 ^{bc}	2,7 ^a	4,7 ^{ab}
E84-2	2,2 ^{abc}	3 ^a	4,2 ^{ab}
ET1	2 ^{bc}	2,7 ^a	4 ^b
ET2	2 ^{bc}	2,3 ^a	4,2 ^b
ET3	2 ^{bc}	2,5 ^a	4,2 ^{ab}

ScMMP : Score Moisissure Maturité Physiologique et *ScMAB* : Score Moisissure Après Battage, *TEnd* : Texture Endosperme.

III.1.4. Performance des variétés par rapport aux moisissures des grains dans les deux sites.

Les scores moisissures des différentes lignées utilisées dans l'expérience sont représentés sur la Figure 17. Les lignées du premier groupe ont eu un bon comportement dans les deux Sites. Le second est constitué des lignées avec de très bonne résistance à Bambey mais mauvaise à Sinthiou Maléme. Les lignées du troisième groupe ont présentés un bon comportement à Sinthiou Maléme ceux qui n'est le cas à Bambey. Et enfin la lignée du quatrième groupe a eu un mauvais comportement à Bambey et à Sinthiou. D'une manière générale les lignées sont plus attaquées par moisissure à Sinthiou qu'à Bambey. Les lignées ont un bon comportement face aux moisissures des grains dans le Site de Bambey car elles ont le même score (1) que le témoin le plus résistant Sureño. Par contre les lignées ont un comportement moyennement résistant à Sinthiou.

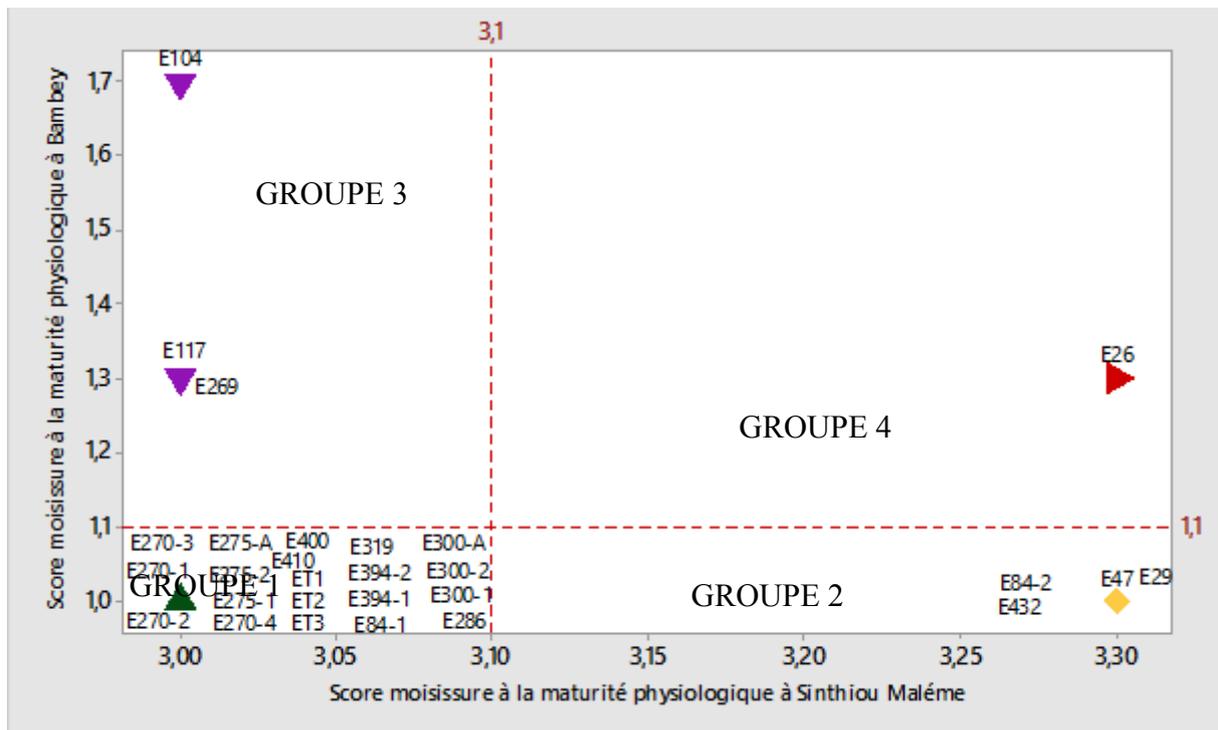


Figure 17 : Classification des lignées en fonction du score moisissure à la maturité physiologique

III.1.5. Performance des lignées pour le rendement en grain dans les deux sites

La Figure 18 montre que les lignées du premier groupe ont un faible rendement à Bambey et à Sinthiou Maléme leurs productivité est inférieure à la moyenne des deux Sites. Le second groupe est constitué des lignées qui ont un bon rendement en grains à Bambey mais faible à Sinthiou. Les lignées du troisième groupe sont seulement productives à Sinthiou mais présentent un faible rendement à Bambey. Le quatrième groupe est constitué des lignées qui ont à la fois un bon rendement à Bambey et à Sinthiou bien qu'elles soient plus productives à Sinthiou Maléme.

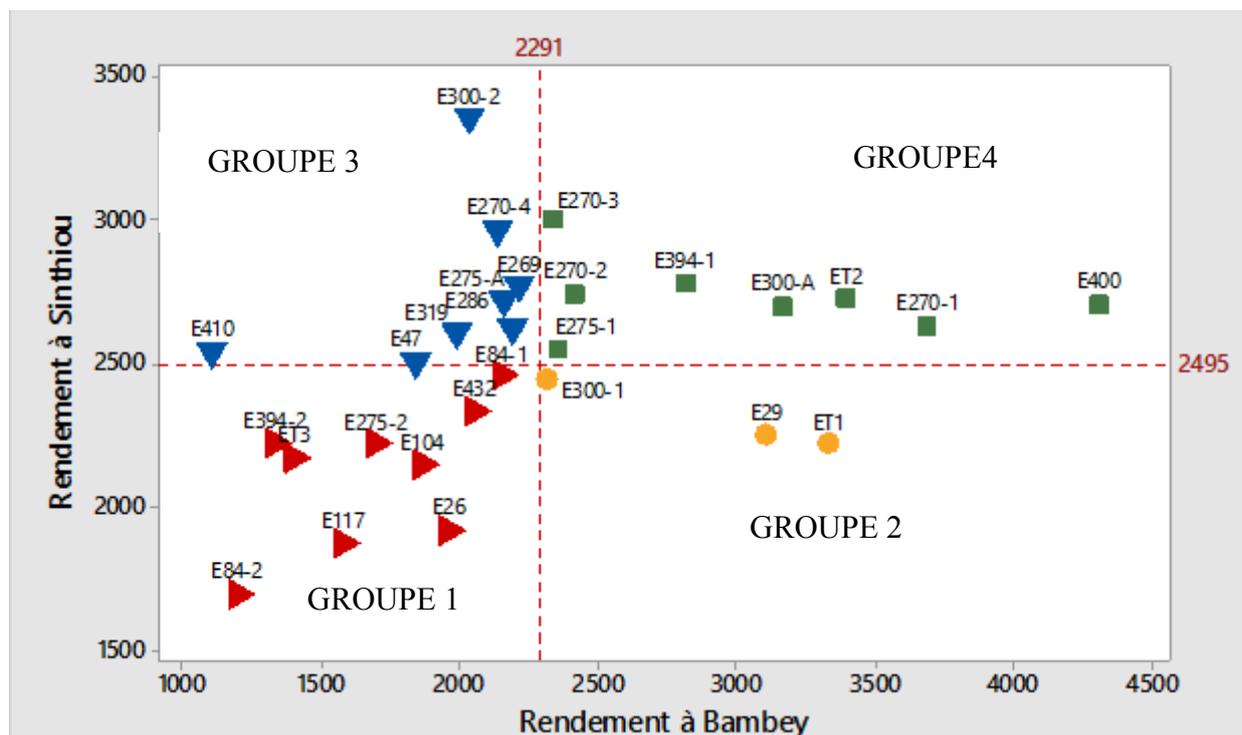


Figure 18 : Classification des lignées en fonctions du rendement de grain dans les deux sites.

III.1.6. Performance des lignées pour le rendement et la résistance aux moisissures.

L'analyse des données combinées montre quatre groupes dans la Figure 19. Le premier groupe a eu un bon comportement par rapport aux moisissures des grains et une faible productivité inférieure à la moyenne générale du (Rdt, 2398 Kg/ha). Le second groupe est constitué par des lignées qui ont eu un faible rendement en grains et un score moisissure à la maturité physiologique mauvais. Pour les lignées du troisième groupe ont eu un bon rendement en grains et un bon comportement face aux moisissures des grains. La lignée du quatrième a présenté un bon rendement en grains et un mauvais comportement face aux moisissures

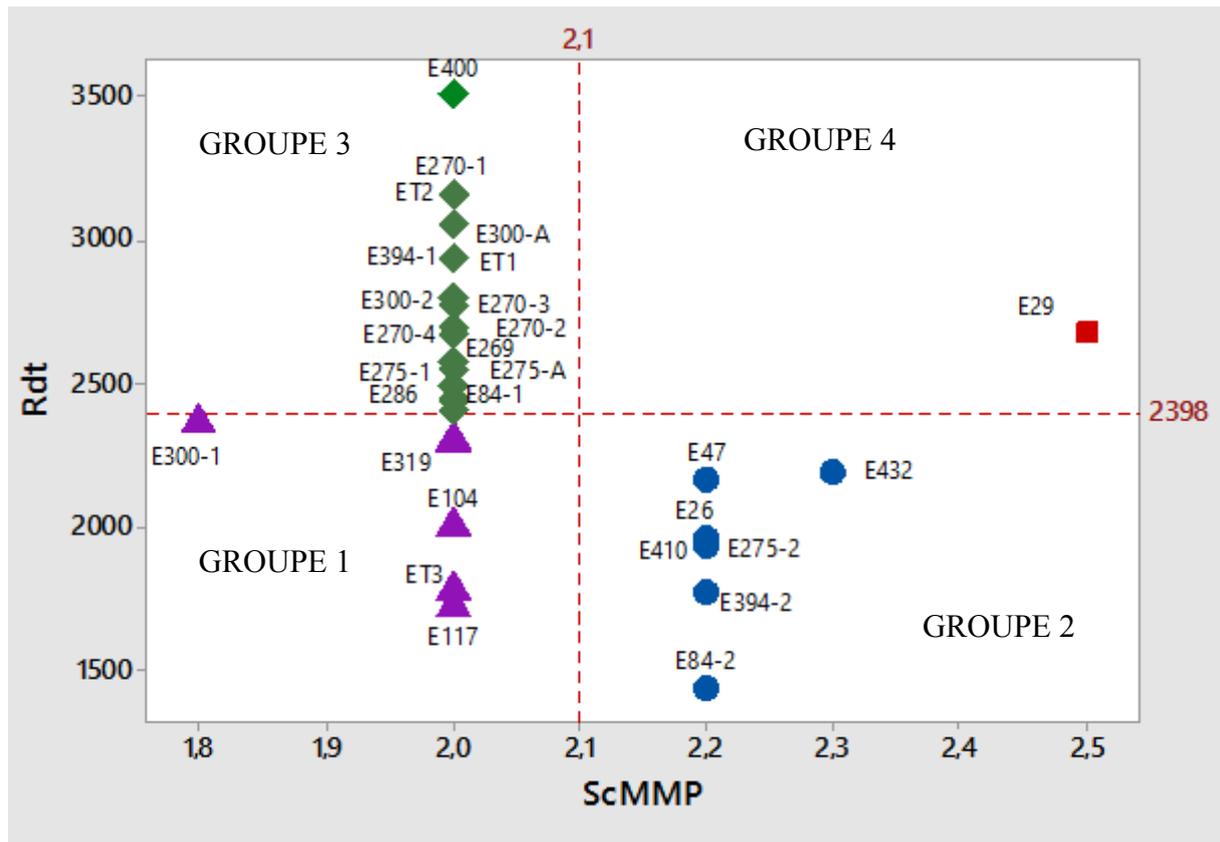


Figure 19 : La classification des lignées en fonction du rendement en grain et du score moisissures à la maturité physiologique

III.I.7. Estimation des paramètres génétiques étudiés

Les variations phénotypiques et génotypiques

Le poids des panicules (PPan), le poids des grains (PGr), et le rendement en grains (Rdt) ont exprimé des variances génotypiques élevées (82597,7 à 133190,8) et des variances phénotypiques élevées (132155,2 à 234129,3) suivies de la hauteur de la plante (HPI) qui a montré des variances génotypiques et phénotypiques respectivement 843,7 et 892,3. Par contre le poids de mille grains (PMG), la durée de semis à la floraison (DSF), la longueur des panicules (LPan) et le diamètre des panicules (DPan) ont enregistré des variances génotypiques faibles (0,3 à 7,62) et des faibles variances phénotypiques (0,38 à 9,29). Les variations ont été calculées avec les formules suivantes :

L'héritabilité au sens large

Les génotypes étudiés ont montré une héritabilité au sens large très élevée (> 70%) pour les caractères de la durée semis à la floraison (DSF ; 82%), la hauteur de la plante (HPI ; 95%) et la longueur panicule (LPan ; 84%). Une héritabilité au sens large modérée (50% à 70%) a été enregistrée pour le score moisissure à la maturité physiologique (ScMMP ; 50%) le rendement

en grains Rdt ; 57%, le poids des panicules (PPan ; 61%), le poids des grains PGr ; 63% et le poids de mille grains (PMG ; 69%). Mais le caractère diamètre des panicules (DPan) a exprimé une héritabilité au sens large faible de (10%). L'héritabilité a été calculée avec la formule suivante.

✚ Le gain génétique attendu

Un gain génétique attendu en pourcentage de la moyenne élevée > 20% a été enregistré pour les paramètres de la hauteur de la plante (28,62%), le poids des panicules (26,53%), le poids des grains (31,61%) et le rendement en grains (23,69%). Les paramètres longueur panicule (LPan ; 15,4%) et le poids de mille grains (14,46%) ont montré un gain génétique attendu en pourcentage de la moyenne modérée comprise entre 10 à 20%. Les plus faibles gains génétiques en pourcentage de la moyenne ont été enregistrés avec les paramètres du score moisissure à la maturité physiologique (6,7) de la durée de semis à la floraison (6,86%) et le diamètre panicule (3,1%).

✚ Le coefficient de variation phénotypique et génotypique

Le coefficient de variation phénotypique (PCV) était supérieur au coefficient de variation génotypique (GCV) pour tous les caractères. Le GCV modéré (14,22 à 19,32%) a été enregistré pour les paramètres de la hauteur de la plante, le poids des panicules, le poids des grains et le rendement en grains. Les autres paramètres ont exprimé un GCV faible <10%. L'estimation du PCV a été élevée pour le poids des grains (24,4%) suivie du rendement en grains (20,17%). La durée de semis à la floraison et la longueur de la panicule ont exprimé le PCV les plus faibles respectivement (4,06% et 8,09%).

Tableau 6: Estimation des paramètres génétiques du sorgho

Variables	Moyenne	V _G	V _P	H ² (%)	CV _G (%)	CV _P (%)	G _s	G _s (%)
DSF	75 ± 3	7,6	9,3	82	3,7	4,1	5,1	6,9
HPI	204,2 ± 29,8	843,7	892,3	95	14,2	14,6	58,5	28,6
LPan	21,6 ± 2,2	3,1	3,7	84	8,2	8,9	3,3	15,4
DPan	5,3 ± 0,2	0,0	0,4	10	3,3	11,6	0,1	3,1
PPan	2197,3 ± 458,9	131955,2	215214,2	61	16,5	21,1	583,0	26,5
PGr	1487 ± 356,3	82597,7	132155,2	63	19,3	24,4	470,2	31,6
PMG	15,5 ± 1,6	1,8	2,6	69	8,7	10,5	2,2	14,5
Rdt	2398,2 ± 467,2	133190,8	234129,3	57	15,2	20,2	568,2	23,7
ScMMP	2,1 ± 0,1	0,0	0,0	50	0,5	1,0	0,1	6,7

G_s : Gain génétique, V_G : Variance génétique, V_P : Variance phénotype, H² : Héritabilité au sens large, CV_G : Coefficient de variation génotypique, CV_P : Coefficient de variation phénotypique, K : Coefficient de sélection, Alpha 5% : Pression de sélection des génotypes

III.1.8. Relation entre les différentes variables

Les variables des composantes du rendement sont positivement et très significativement liées entre elles (Tableau 6). En effet, il existe une corrélation positive entre le poids des panicules, le poids des grains, le poids de mille grains, et le rendement en grain avec des coefficients de corrélation allant de 0,017 à 0,970. Les variables du score moisissure (ScMMP et ScMAB) entretiennent des relations significatives et positives entre elles. En effet il y'a une corrélation positive très significative entre le score moisissure à la maturité physiologique et le score moisissure après battage avec un coefficient de corrélation de 0,420. Le rendement en grains et ses composantes ont une corrélation négative mais pas significatives avec les variables du score moisissure à la maturité physiologique et le score moisissure après battage excepté la texture endosperme (TEnd) qui présente corrélation significative négative avec un coefficient de corrélation de (-0,462). Ce tableau 6 montre aussi le score moisissure à la maturité physiologique et la longueur de la panicule ont une liaison significative et positive avec un coefficient de corrélation de 0,429. De même que les variables de la hauteur de la plante et le rendement en grains, ils ont une liaison significative et positive. Ainsi, il existe une corrélation positive entre ces deux variables avec un coefficient de corrélation de 0,431. Par contre les variables des composantes du rendement sont négativement et très significativement liées avec la durée semis floraison, il existe une corrélation négative entre le poids des panicules, le poids

des grains, le poids de mille grains, et le rendement en grain avec la présentant des coefficients de corrélation allant de -0,721 à -0,581.

Tableau 7: Relations entre les paramètres

Variables	DSF	HPI	LPan	DPan	PPan	PGr	PMG	Rdt	ScMMP	ScMAB
HPI	-0,184									
LPan	-0,310	-0,477*								
DPan	-0,066	0,083	-0,104							
PPan	-0,581**	0,212	0,304	0,175						
PGr	-0,633**	0,323	0,224	0,147	0,970**					
PMG	-0,721**	0,315	0,123	0,230	0,563**	0,660**				
Rdt	-0,587**	0,431*	0,017	0,438*	0,721**	0,795**	0,752**			
ScMMP	0,047	-0,243	0,429*	-0,276	-0,205	-0,233	-0,190	-0,0267		
ScMAB	0,350	-0,082	-0,072	-0,210	-0,043	-0,059	-0,428*	-0,163	0,0420*	
TEnd	0,346	0,118	-0,035	0,059	0,071	-0,003	-0,170	-0,017	-0,189	-0,462*

** : probabilité < à 0,01 et * : probabilité < à 0,05

III.2 Discussion

L'analyse de variance a montré un effet Site très hautement significatif pour la plupart des variables étudiées. Ce qui montre que les lignées se comportent différemment d'un Site à un autre. Cela peut être dû aux effets environnementaux comme la température, l'humidité et la pluviométrie mais aussi au type de sol qui est important pour le développement de la plante. L'analyse a montré aussi un effet Entrée (génotype) très hautement significatif pour toutes les variables. Cela s'expliquerait par l'existence d'une différence génétique et des caractères agro-morphologiques au sein de la population des lignées. Les différences importantes notées entre les minimums et les maximums des variables étudiées confirment cette forte variabilité. Cependant pour les 25 lignées étudiées la (DSF) est comprise entre 69 et 81 jours. Ce qui révèle l'existence de deux groupes au sein des lignées : l'un compris entre 66 et 75 jours à une durée de semis à la floraison moyenne et l'autre compris entre 76 et 81 jours à une à une durée de semis à la floraison tardive.

La variation du score moisissure à la maturation physiologique (ScMMP) dans les deux Sites révèle l'existence de 17 lignées E 84-1, E 270-1, E 270-2, E 270-3, E 275-A, E 275-1, E 275-2, E 270-4, E 286, E 300-A, E 300-1, E 300-2, E 319, E 394-1, E 394-2, E 400 et E 410 ont un bon comportement par rapport aux attaques des moisissures à Sinthiou Maléme et à Bambey. Cette absence de sensibilité montre que ces lignées sont résistantes et ça serait dû probablement aux gènes de QTLs résistants aux moisissures des grains qu'elles ont hérités. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Diatta, 2016) selon lui plusieurs QTLs de caractère agronomique importants tels que la résistance du sorgho aux maladies fongiques (moisissures) ont été cartographiés, et trois ont été pour le contrôle des moisissures des grains pendant la germination et deux pour le contrôle des moisissures après la récolte. Ce pendant le prolongement du cycle pourrait expliquer cette faible sensibilité car les lignées ont eu un cycle moyen ou tardif et ceci permet d'éviter les risques d'infection. Des résultats similaires ont été trouvés par Gbedie (2016). Par conséquent l'utilisation des cultivars à cycle long et non photopériodiques ou en ajustant les dates de semis permet d'éviter les maladies car ceux-ci arrivent à la maturation au cours de la saison sèche (Singh & Bandyopadhyay, 2000) et Thakur *et al.*, 2006). Néanmoins, cette longueur de la durée du cycle devrait être pondérée pour échapper la sécheresse de fin de cycle qui est à l'origine de beaucoup de pertes en masse des grains, dus à un mauvais remplissage (Singh & Bandyopadhyay, 2000). Ainsi ces lignées qui ont un cycle moyen avec une résistance à la moisissure des grains et présentant des hauteurs < à 2.5m peuvent être utilisés dans les zones de culture de sorgho. Selon (Kenga *et al.*, 2005) les variétés hautes et à cycle long peuvent ne pas être désirables dans toutes les zones de cultures de sorgho. Il est évident que l'effet et la sévérité de la moisissure des

grains sont influencées par l'environnement de production, la température, l'humidité et le type de variété (Ashok Kumar *et al.*, 2011 et Audilakshmi *et al.*, 2011). Dans cette étude les lignées ont été très résistantes à Bambey mais elles ont été moyennement résistantes à Sinthiou Maléme. Cela expliquerait le fait que le site de Bambey était plus désencombré que celui de Sinthiou Maléme. Car il y'avait beaucoup d'herbes, des pailles et des arbres au s'enceindre de l'emplacement du terrain de l'essai à Sinthiou. Et ceux-ci favorisent l'installation des insectes (punaises des panicules) qui pourraient être des vecteurs qui véhiculent les spores des moisissures assurant ainsi la propagation de la maladie ce qui occasionne une mauvaise remplissage des grains (Girard et Delassus, 1978 ; Louvel, 1984). La variation du rendement en grain dans les deux sites a montré les lignées E 400, E 270-1, E 300-A, E 394-1, E 270-3, E 270-2 et E 275-1 ont eu un bon rendement en grain à Bambey et à Sinthiou Maléme. Ces 7 lignées auraient adaptés aux conditions de culture des deux zones. Ainsi elles pourraient être utilisées dans ces zones. Cependant la sensibilité moyennement résistante des grains n'avait pas effet sur le rendement et ses composants à Sinthiou Maléme. Car le rendement en grain (Rdt) obtenu à Sinthiou Maléme a été supérieur à celui de Bambey. Cela peut être dû au fait que la pluviométrie a été faible à Bambey. Hormis les facteurs climatiques qui sont différentes entre les deux Sites, cela pourrait être dû aussi à la différence de type de sol qui existe entre les Sites (sol plus lourd à Sinthiou qu'à Bambey). D'après (Diouf, 2017) le sol de la station de recherche de Sinthiou Maléme est composé de 88% de sable, 8% d'argile et 4% de limon alors que, celui du CNRA de Bambey est composé de 88,1% de sable, 7% d'argile et 2,3% de limon. Les lignées (E 400, E 270-1, E 300-A, E 270-2, E 275-A, E 269, E 275-1, E 270-4, E 270-3, E 394-1, E 84,-1 E 286, E 319 et E 394-1) ont combiné un bon rendement et un bon comportement par rapport aux moisissures des grains. La diffusion et l'adoption de ces lignées par les producteurs pourraient contribuer efficacement à assurer la sécurité alimentaire et lutter contre la pauvreté au Sénégal. Les résultats pour les témoins T1 et T2 confirment les travaux de Diouf (2017) et Djagni (2019) les variétés Payenne et Nganda améliorées au Sénégal sont connues par leur bonne productivité et leur bon comportement à l'infection des moisissures des grains. Le même résultat sur le témoin T3 est confirmé par les travaux de Diouf (2017) cela pourrait se justifier du fait que Suréño est une variété introduite.

La variabilité de la population de base est une clé importante pour l'amélioration des cultures car elle permet de sélectionner pour développer le génotype souhaité. La détermination de l'héritabilité au sens large montre la proportion de la variabilité qui pourrait être transmise du parent à la progéniture. Dans cette étude, la (DSF, HPI et la LPan) ont enregistré une forte

héritabilité au sens large. Un résultat similaire a été rapporté par (Drabo *et al.*, 2013). Les autres paramètres ont démontré une héritabilité au sens large modérée sauf pour le diamètre des panicules (DPan) qui a présenté une héritabilité au sens large faible. Cela expliquerait au fait que le variable (DPan) a enregistré le plus faible gain génétique. Par contre les variables (HPI, PPan, PGr et Rdt) ont eu un gain génétique élevé. Ces variables pourraient apporter des changements sur l'amélioration de ces lignées en sélection. Ainsi le gain génétique en pourcentage moyenne de la population dû à la sélection dépend de l'héritabilité au sens large du caractère, de la variation phénotypique et de la pression de sélection selon la formule du gain génétique. Donc l'héritabilité seule ne pourrait pas montrer si la sélection pourrait apporter une amélioration importante. Malgré cela, le calcul de l'héritabilité ainsi que le gain génétique attendu peuvent fournir des informations plus fiables sur l'amélioration. Une héritabilité au sens large forte, associée à une avancé génétique en pourcentage de la moyenne attendue élevée de la sélection de 5%, a été enregistrée pour la (HPI). La (DSF) a montré un gain génétique en pourcentage moyen faible associé à une forte héritabilité au sens large. Des résultats similaires ont été rapportés par Drabo *et al.* (2013) sur la (DSF) dans ces études. Les estimations du coefficient de variation phénotypique étaient supérieures au coefficient de variation génotypique pour tous les caractères. Des résultats similaires ont été rapportés par Drabo *et al.* (2013). La DSF, LPan et PMGr) ont montré un GCV faible, malgré cela ils enregistrent une héritabilité au sens large élevée. Le coefficient de variabilité est un indicateur de la quantité de variabilité existant entre les génotypes d'un individu. Cependant, il ne montre pas la partie héritable ou non héritable de cette variabilité.

Cette étude montre que le (ScMMP) est corrélé négativement au Rdt et ces composants. Ce qui démontre que les moisissures touchent négativement le rendement et ses composantes. Cette association négative a été rapportée par plusieurs auteurs ((Bandyopadhyay *et al.*, 2000 et Diatta, 2016). D'après Bandyopadhyay *et al.* (2000) et Thakur *et al.* (2006) l'évolution de la moisissure sur le sorgho entraîne des avortements floraux, diminue la qualité, la taille, la densité et le poids des grains et par conséquent provoque la chute des composantes du rendement.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude a été menée à la station de recherche de l'ISRA/CNRA de Bambey et de Sinthiou Maléme durant l'hivernage 2019. Les 25 lignées de génération F7 utilisées dans cette étude sont issues du croisement entre Nganda et Suréño. En sélection F7 correspond à la septième génération et équivaux à 98,43% d'homogénéité. Donc les lignées étaient presque totalement uniformes. La variété Nganda est connue pour son bon rendement et celle de Suréño pour sa bonne résistance aux moisissures des grains. L'étude a permis de montrer que 17/25 lignées ont eu une bonne résistance aux moisissures dans les deux sites. Et pour le rendement en grain 7/25 lignées ont montrés une bonne performance dans les deux zones. D'après les résultats de l'étude, nous pouvons identifier 13/25 lignées combinant ainsi un haut potentiel de rendement en grain et une bonne résistance aux moisissures des grains. Parmi elles la lignée E 400, E 270-1 et E 300-A ont été les plus productives. Ainsi l'étude nous a permis de montrer 4 variables qui ont eu un gain génétique élevé. Elle a aussi permis de montrer la relation négative qui existe entre le rendement, ses composants et le score moisissure affirmant que l'augmentation de la sévérité des attaques de moisissures en grains entraînent une diminution du rendement et ses composants. Dans l'ensemble les résultats obtenus de ces études répondent aux objectifs fixés en termes de résistance aux moisissures des grains. Et en ce qui concerne le rendement les résultats sont en moitié satisfaisant.

Il serait important de reconduire les essais dans une autre zone agro écologique différente, afin de confirmer ces résultats. Il serait aussi important de tester les meilleurs variétés combinant une bonne résistante/tolérante aux moisissures des grains et un bon rendement afin d'identifier les génotypes élites. Ces derniers pourraient être utilisés dans le futur par les producteurs dans le but d'assurer la protection et d'accroître leurs productivité mais aussi dans les programmes de sélection.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aheto J.H., Eziah V.Y., Atokple I.D.K., Opare-obuobi K. (2017) – Sorghum head bug infestation and mould infection on the grain quality of sorghum in northern Ghana. Department of Crop Science, P. O. Box LG44, Legon, Ghana .ISSN 1021-9730/2017 4.00. Received 14 December, 2015; accepted 1 August, 2017). P10.
- ANDS (2019) – Bulletin mensuel des statistiques et économiques de Décembre 2019. Ministère de l'Economie et des Finances. Direction de l'Analyse, de la Prévision et de la Statistique (DAPS), ISSN 0850 – 1467. Sénégal. P111.
- ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie) (2018) – Bulletin mensuel des statistiques et économiques de juin 2018. Ministère de l'Economie et des Finances. Direction de l'Analyse, de la Prévision et de la Statistique (DAPS), ISSN 0850 -1467. Sénégal. P109.
- Antoine F. (2010) – Moisissures prévention et lutte. Archives générales du Royaume rue de Ruysbroeck 2-61000 Bruxelles. inspect@arch.be. www.arch.be.
- Ashok Kumar A., Reddy Belum.V.S., Sharma H.C., Hash C.T., Rao P.S., Ramaiah B., Reddy P.S. (2011) – Recent Advances in Sorghum Genetic Enhancement Research at ICRISAT. American Journal of Plant Sciences, 2011.P, 2, 589-600 doi:10.4236/ajps.2011.24070 Published Online October 2011 (<http://www.SciRP.org/journal/ajps>)
- Audilakshmi S., Das I.K., Ghorade R.B., Mane P.N., Kamatar M.Y., Narayana Y.D., Seetharama N. (2011) – Genetic improvement of sorghum for grain mould resistance: I. Performance of sorghum recombinant inbred lines for grain mould reactions across environments. Crop Protection 30 (2011) 753-758. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/cropro.
- Bandyopadhyay R., Butler D.R., Chandrashekar A., Kanaka R., Navi S.S. (2000) – Biology, Epidemiology, and Management of Sorghum Grain Mold. P34-71 in Technical and institutional options for sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Bruggers R., Jaeger M. (1982) – Ravageurs des oiseaux et stratégies de protection des cultures pour les céréales des régions tropicales semi-arides d'Afrique. Sorgho dans les années 80. ICRISAT Center, Patancheru, Inde, ICRISAT, Patancheru, Inde. P 303-312. , 484.

- Chantereau J., Cruz J.-F., Ratnadass A., Trouche G. (2013) – *Le sorgho*. Claire Parmentier, Presses agronomiques de Gembloux, France : CTA, 221 p, ISBN : 978-2-7592-2061-8.
- Chantereau J., Nicou R. (1991) – *Le sorgho*. CTA.
- Cissé N. (2002) – La culture du sorgho de decrue en Afrique de l’ouest et du centre: *situation actuelle et definition d’un plan d’action regional*. Pages 247 P111-121. Agencia Española de Cooperacion Internacional, Barcelona?
- Clerget B., Dingkuhn M., Chantereau J., Hemberger J., Louarn G., Vaksman M. (2004) – Does panicle initiation in tropical sorghum depend on day-to-day change in photoperiod. *Field Crops Research*, 88P 21–37. ICRISAT/CIRAD Sorghum Ecophysiology Project, BP 320, Bamako, Mali. CIRAD, TA40/01 Ave. Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France IER, BP 258, Bamako, Mali.
- Dakouo D., Trouche G., Niango Ba M., Neya A., Kaboré K.B. (2005) – Lutte génétique contre la cécidomyie du sorgho, *Stenodiplosis sorghicola* : une contrainte majeure à la production du sorgho au Burkina Faso. P14.
- Deu M., Hamon P. (1994) – Diversité des sorghos : application à la gestion des ressources génétiques et à la sélection. P7.
- Diatta C. (2011) – Caractérisation Agro-morphologique de 199 Accessions de Sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de la Collection de l’ISRA. Mémoire DEA, Agronome et Protection des Cultures. Thiès: ENSA, P86.
- Diatta C. (2016) – Development of sorghum [*sorghum bicolor* (l) moench] for resistance to grain mold in Sénégal. Thèse en philosophie dégrée à l’élevage des plantes. Ghana : Université de Ghana, Legon,.
- Diouf A.C. (2017) – Evaluation de varités élites de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] pour la résistance/tlérance aux moisissures des grains au Sénégal. Mémoire de master en production et transformation des produits agricoles. Saint-Louis : UGB.
- Doumbia S., Thomas M. AFPP – vingtième conférence du coloma journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes dijon – 11 et 12 décembre 2007. , 10.
- Etape de developpement du sorgho – recherche google. https://www.google.com/search?q=etape+de+developpement+du+sorgho&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEw_j_yr_fm4_pAhVJy6QKHcpHB5gQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1366&bih=657#imgrc=NYc8xOJ39h8cKM

- Forbes G., Bandyopadhyay R., Garcia G. (1992) – A review of sorghum grain mold.
- Gahukar R. (1984) – Seasonal distribution of sorghum midge (*Contarinia sorghicola* Coq.) and its hymenopterous parasites in Senegal. *Agronomie*. P393–397.
- Gbedie N. audrey (2016) – Caractérisation agro-morphologique de trois populations F4 de lignées recombinantes de sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] pour la tolérance aux moisissures des grains au Sénégal. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en phytopharmacie et protection des végétaux .Dakar.UCAD.
- Girard Jean. claud, Delassus M. (1978) – Les maladies parasitaires des mils et ds sorghos au Sénégal. Délégation générale à la recherche Scientifique et Technique .ISRA/CNRA de Bambey.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J. (1972) – A simplified classification of cultivated sorghum 1. *Crop science*. P172–176.
- https://www.researchgate.net/figure/Formes-des-panicules-et-des-grains-des-cinq-races-principales-de-sorgho-Dessins_fig2_311587400 Figure 2 : Formes des panicules et des grains des cinq races... *ResearchGate*.
- <http://www.iedafrique.org/climat-et-planification..> Climat et planification de la politique agricole au Sénégal - IED Afrique | Innovations Environnement Développement.
- <http://www.lemonde.fr/afrique/article/2019/06/04> Avec le réchauffement climatique, la culture du sorgho s'implante en Europe.
- IBPGRI., ICRISAT (1993) – Descriptors for Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Rome: International Board for Plant Genetic Resources; Patancheru (Inde): International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Pagination double. P38.
- ICRISAT (1992) – ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). 1992. Medium Term Plan 1994-98. Research theme datasets. Volume 3. Patancheru 502324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics P 229.
- KAMINSKI J., ELBEHRI A., SAMAKE M. (2013) – Une évaluation des filières du sorgho et du mil au Mali et les implications pour une politique cohérente de développement. In: P525–547. Bamako Mali.

- Kenga R., Alabt S.O., Gupta S.C. (2005) – Heterosis and combining ability for grain yield and its components in induced sorghum mutants. Institute of Agriculture Research for Development (IRAD) Box 33 Maroua, Cameroon. Ahamadu Bello University, Department of plant Science/IAR, Zaria, Nigeria. ICRISAT, NASC Complex, Pusa, New Delhi 110012, India.
- Louvel D. (1984) – *Les moisissures des grains du sorgho synthèse des travaux réalisés. CNRA/Bambey. 1981-1984.* ISRA/CNRA, BAMBEY.
- Ndiaye A., Fofana A., Ndiaye M., Mbaye D. Farba, Séné M., Mbaye I., Chantereau J. (2005) – Les céréales. In: ISRA, ITA, CIRAD eds. Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. Dakar: ISRA, pp. 241-256. , 524.
- Planetoscope (2012) – Planetoscope - Statistiques : Production mondiale de sorgho, consulté le 26 /03/ 2020.
- Prom L.K., Perumal R., Cissé N., Little C.R. (2014) – Evaluation of Selected Sorghum Lines and Hybrids for Resistance to Grain Mold and Long Smut Fungi in Senegal, West Africa. *Plant Health Progress*, **15**, P74–77.
- Séné M.M. (2015) – Evaluation agro-morphologique de variétés hybrides de Sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] en condition pluviale dans le centre Nord du bassin arachidier du Sénégal. Mémoire de master en production végétal. Université de Thiés. Université de Thiés, Thiés.
- Singh S.D., Bandyopadhyay R. (2000) – Grain mold. Compendium of sorghum diseases, P38–40.
- Thakur R., Reddy B., Indira S., Rao V., Navi S., Yang X., Ramesh S (2006) – Sorghum Grain Mold, In: Inf. Bull. No.72. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru 502324, Andhra Pradesh, India, P35.
- 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. Information Bulletin No. 76. Patancheru 502324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 92 pp. ISBN 978-92-9066-504-5.

ANNEXES :

Diversités au sein des lignées étudiées à Bambey

Tableau d'Analyse de Variance (ANOVA)

Variables	Df	DSF	HPI	LPan	DPan	PPan	PGr	PMG	Rdt
ENTREE	27	44,0***	2830,0***	15,1***	0,4 **	1421554***	872900***	15,0***	1726608***
REPETION (REP)	2	6,4	522,5	3,4	0,8**	2669357**	2175408***	6,6	3774910**
REP:BLOC	18	27,2*	530,0 *	6,7**	0,2	1123139**	568330*	9,7*	1304566*
Erreur	35	12,0	236,0	2,1	0,2	337348	247610	4,3	533664

*** : probabilité < à 0.001, ** : probabilité < à 0.01 et * : probabilité < à 0.05, DSF : Date Floraison, HPI : Hauteur de la Plante, LPan : Longueur de la Plante, DPan : Diamètre de Panicule PPan : Poids des Panicules, PGr : Poids des grains, PMG : Poids de Mille grain, Rdt : Rendement en grain.

Tableau de la performance des 25 lignées à Bambey.

ENTREE	Rdt	ScMMP	ScMAB	TEnd
E104	1867 ^{bc}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E117	1580,1 ^{bc}	1 ^b	3 ^a	4 ^{ab}
E26	1960,5 ^{abc}	1 ^b	2,7 ^a	3,7 ^b
E269	2215,63 ^{abc}	1 ^b	3 ^a	4 ^{ab}
E270-1	3689,100 ^{ab}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E270-2	2416,9 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4 ^{ab}
E270-3	2340,2 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4,7 ^a
E270-4	2138 ^{abc}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E275-1	2357,23 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4 ^{ab}
E275-2	1697,7 ^{bc}	1,3 ^{ab}	2,7 ^a	4,3 ^{ab}
E275-A	2160,03 ^{abc}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E286	2187,9 ^{abc}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E29	3108,3 ^{abc}	1,7 ^a	2,7 ^a	4 ^{ab}
E300-1	2316,8 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4 ^{ab}
E300-2	2035 ^{abc}	1 ^b	2 ^a	4 ^{ab}
E300-A	3171,9 ^{abc}	1 ^b	2 ^a	4 ^{ab}
E319	1987,1 ^{abc}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E394-1	2817 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4 ^{ab}
E394-2	1334 ^{bc}	1,3 ^{ab}	2,7 ^a	4 ^{ab}
E400	4305,9 ^a	1 ^b	2 ^a	4 ^{ab}
E410	1104,6 ^c	1 ^b	3 ^a	4,5 ^{ab}
E432	2050 ^{abc}	1,3 ^{ab}	3 ^a	4 ^{ab}
E47	1839,5 ^{bc}	1 ^b	2,7 ^a	4 ^{ab}
E84-1	2153,1 ^{abc}	1 ^b	2,7 ^a	4,3 ^{ab}
E84-2	1197 ^c	1 ^b	3 ^a	4 ^{ab}
ET1	3333 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4 ^{ab}
ET2	3396 ^{abc}	1 ^b	2,3 ^a	4 ^{ab}
ET3	1404 ^{bc}	1 ^b	2,5 ^a	3,7 ^b

Rdt : Rendement en grains, ScMMP : Score Moisissure à la Maturité Physiologique, ScMAB : Score Moisissure Après Battage, TEnd : Texture Endosperme.

Diversités au sein des lignées étudiées à Sinthiou Maléme

Tableau d'Analyse de Variance (ANOVA)

VARIABLES	DF	DSF	HPL	LPan	DPan	PPan	PGr	PMGr	Rdt
ENTREE	27	22,3 ^{***}	2967,4 ^{***}	12,4 ^{***}	0,4 ^{**}	431354 ^{**}	227765 ^{**}	6,2 ^{***}	395995
REPETITION	2	9	897,6 ^{**}	1,6	1,3 ^{***}	800595 [*]	404259 [*]	12,4 ^{***}	1662670 ^{**}
REP:BLOC	18	9,2	251,7	1,1	0,2	353666 [*]	189678 [*]	1,3	519486 [*]
ERREUR	35	5,3	164,7	0,8	0,1	161475	89574	1	241839

*** : probabilité < à 0.001, ** : probabilité < à 0.01 et * : probabilité < à 0.05, DSF : Date Floraison, HPL : Hauteur de la Plante, LPan : Longueur de la Plante, DPan : Diamètre de Panicule, PPan : Poids Panicule, PGr : Poids Grain, PMGr : Poids Mille Grain, Rdt: Rendement.

Tableau de performance des 25 lignées à Sinthiou Maléme

ENTREE	Rdt	ScMMP	ScMAB	TEnd
E104	2145,5 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4,7 ^a
E117	1875,1 ^{ab}	3 ^a	2 ^a	4,7 ^a
E26	1918,3 ^{ab}	3,3 ^a	3 ^a	5 ^a
E269	2767,6 ^{ab}	3 ^a	3,7 ^a	5 ^a
E270-1	2633 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4,7 ^a
E270-2	2741,4 ^{ab}	3 ^a	2,7 ^a	4,7 ^a
E270-3	2999 ^{ab}	3 ^a	3,3 ^a	5 ^a
E270-4	2966,2 ^{ab}	3 ^a	2 ^a	5 ^a
E275-1	2550,2 ^{ab}	3 ^a	3,3 ^a	5 ^a
E275-2	2219,4 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4,7 ^a
E275-A	2721 ^{ab}	3 ^a	4 ^a	5 ^a
E286	2622 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4,7 ^a
E29	2250,3 ^{ab}	3,3 ^a	3 ^a	5 ^a
E300-1	2441,4 ^{ab}	3 ^a	2 ^a	4,5 ^a
E300-2	3353,8 ^a	3 ^a	2,7 ^a	4,3 ^a
E300-A	2699,3 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4,3 ^a
E319	2608,4 ^{ab}	3 ^a	2,3 ^a	4,7 ^a
E394-1	2778,3 ^{ab}	3 ^a	2,3 ^a	5 ^a
E394-2	2223,4 ^{ab}	3 ^a	2 ^a	4,3 ^a
E400	2704,4 ^{ab}	3 ^a	3,3 ^a	4,7 ^a
E410	2541,8 ^{ab}	3 ^a	4 ^a	5 ^a
E432	2334,5 ^{ab}	3,3 ^a	3,7 ^a	4,7 ^a
E47	2506,7 ^{ab}	3,3 ^a	2,7 ^a	5 ^a
E84-1	2457,8 ^{ab}	3 ^a	2,7 ^a	5 ^a
E84-2	1698,6 ^b	3,3 ^a	3 ^a	4,3 ^a
ET1	2219,1 ^{ab}	3 ^a	3 ^a	4 ^a
ET2	2724,2 ^{ab}	3 ^a	2,3 ^a	4,3 ^a
ET3	2171,3 ^{ab}	3 ^a	2,3 ^a	4,7 ^a

Rdt : Rendement en grains, ScMMP : Score Moisissure à la Maturité Physiologique, ScMAB : Score Moisissure Après Battage, TEnd : Texture Endosperme

PHOTOS



A



B



C



D

Photo 1 : Sécateur = (A), Ficelle agricole = (B), Les sacs placés devant les parcelles = (C), Les sacs remplis de panicule = (D). Source : (Gaye, 2019)



E



F

Photo 2 : Observation des moisissures à la maturité physiologique au champ = (E), observation des moisissures sur boîte de Pétri après battage = (F) .Source :(Gaye, 2019)



1



2



3

Photo 3 : Mesure de la hauteur de la plante = (1), Mesure du diamètre de la panicule = (2), Mesure de la longueur de la panicule = (3). Source : (Gaye, 2019)



I



II



III

Photo 4 : Poids grain par parcelle = (I), Compteur de grain Numigral = (II), Balance électronique = (III). Source (Gaye, 2019)

