

**Caractérisatiqués agro-morphologiques et
physiologiques d'une collection de sorgho [*sorghum
bicolor (L.) Moench*] cultivée en condition de décrue
dans la vallée du fleuve Sénégal**

DEDICACES

A mon père **Louis DJAKPA** et ma mère **Joséphine DOSSA** épouse **DJAKPA** pour tous les sacrifices consentis et les peines endurées pour notre éducation. Que Dieu le Tout Puissant vous accorde une longue vie et une bonne santé.

A mes sœurs **Estar, Yolande** et **Lucie DJAKPA** pour leur tendresse, leur amour et leur soutien.

A Mlle **Guehi Grace Marina RENE** pour son amour et son soutien sur tous les plans

A mes tantes **Marie Joséphine Hortense** et **Cécile GBAGUIDI** pour leur soutien sur tous les plans au cours de mon cursus.

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce travail a été possible grâce au concours de diverses personnes à qui nous témoignons toute notre reconnaissance. Ainsi mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Je suis affectée à l'idée de ne pouvoir citer tout ce monde sur cette page. Mon grand souhait est que toutes ces personnes qui ne verraient pas leur nom se reconnaissent à travers ceux cités.

Mes remerciements vont à l'endroit de:

Pr Léonard Elie AKPO, coordonnateur du master Agroforesterie, Ecologie et Adaptation (AfEcA) pour nous avoir autorisé à nous inscrire dans ledit master et pour avoir accepté d'encadrer ce travail malgré ses multiples charges. Son sens du travail bien fait et ses multiples qualités humaines nous ont profondément marqués et motivés dans la réalisation de ce travail. Qu'il soit assuré de notre profonde reconnaissance

Dr Bassirou SINE, chargé de recherches au Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse (CERAAS) qui a spontanément accepté de diriger ce travail et tout mis en œuvre pour son aboutissement sans oublier l'appui logistique et la facilitation de nos recherches sur le terrain. Nous lui exprimons notre gratitude.

Dr Ndiaga CISSE, Directeur du CERAAS, pour nous avoir acceptés à effectuer ce stage dans son centre. Soyez assurés de nos profonds sentiments de reconnaissance.

Dr Daniel FONCEKA, coordonnateur scientifique du CERAAS pour votre rigueur scientifique et vos remarques pertinentes lors des réunions scientifiques

Drs BAKHOUM et SARR assistants du Professeur AKPO pour la coordination des cours du master et à tous les enseignants qui ont d'une manière ou d'une autre contribué dans notre formation

Pr Aliou GUISSSE et **Dr Mathieu GUEYE** respectivement président et membre du jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail. Nous vous exprimons ici tous nos sentiments de gratitude et de grande considération.

Mention spéciale à tout le personnel du CERAAS qui m'a accueilli et intégré avec succès. Je tiens à remercier :

Diariétou SAMBAKHE, biométricienne au CERAAS, pour nous avoir assisté dans l'analyse des données et pour son soutien moral.

Le personnel scientifique, les Docteurs, **Oury Diallo**, **Khalil KANE**, **Marème NIANG BELKO**, **Amy BODIAN**, **Mame Codou GUEYE**. Tous les doctorants à l'image de **Nofou**

OUEDRAOGO, Thierry TOVIGNAN, Codjo Emile AGBANGBA, Komivi DOSSA, Cyril DIATTA, Jacques AKATA, Joël Romaric NGUEPJOP et Aissatou SAMBOU, Baye Maguette DIOP.

Le Personnel administratif particulièrement pour sa disponibilité et son dévouement tout au long de notre séjour.

Le personnel informatique à l'image de **Cheikhou DRAME** et **Khadidiatou DIOP** qui m'ont imprimé le document et mis à ma disposition des outils informatiques nécessaires.

Les techniciens **Moussa FATY, Rose DIOUF** et **Romiel BADJI** à qui nous exprimons notre reconnaissance pour l'appui dans la collecte des données sur le terrain.

A tous mes camarades stagiaires du CERAAS: **Awa SARR, Makhtar NIANG, Ndiawar LY, Joseph GOMIS, Aliou DIOUF, Bousso WILLANE, Boubacar GANO** que l'entraide, la sympathie, qui ont régné parmi nous puissent grandir d'avantage et nous rapprocher dans l'avenir.

A Mlle **Jemima Folaokè AGBINDO-BANKOLE** pour son soutien potentiel dans les moments de défis.

A mon frère ami **Stève DASSOU**, pour son soutien inconditionnel et son encouragement.

A tous mes camarades de promotion Master II AfEcA en particulier **Donatien SAMBOU** pour son soutien dans les moments de défis.

Abstract

Sorghum is an important staple food crop in Senegal and due to cultural constraints, it achieves low yield. Many studies were focused on rainfed sorghum and provided excellent findings for the crop improvement. However, sorghum grown in Senegal River Valley as flooded recession crop is understudied. The work aimed at assessing the adaptation of sorghum varieties and to identify productivity interesting traits in such an environment. Fifty one sorghum accessions were studied using an alpha design with three replicates. The analysis of variance showed that the studied accessions differed significantly in all agro-morphological traits. The principal component analysis on agro-morphological and physiological parameters allowed identifying four groups. The promising varieties have high grain weight, thousand-seed weight, above-ground biomass, harvest index) and physiological (foliar temperature) are correlated to grain yield. Grain yield was explained by above-ground biomass, harvest index and leaf temperature. More than 94% of grain yield were explained by above-ground biomass, harvest index and foliar temperature. These variables are then important in breeding program targeted to improve sorghum grain yield in Senegal River Valley.

Keywords: Sorghum, flooding recession, leaf temperature, allometric relationships, Senegal River Valley.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composante Principale

AfEcA : Agroforesterie Ecologie et Adaptation

ANSD: Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

CERAAS: Centre d'Etude Régionale pour l'Amélioration de l'Adaptation à la sécheresse

CIRAD: Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement

BA : Biomasse Aérienne

DFM : Durée Floraison Maturité

DSE : Duré Semis Epiaison

DSF : Durée Semis Floraison

DSM: Durée Semis Maturité

FAOSTAT: Food and Agricultural Organization Corporate Statistical Database

Fm : Fluorescence Maximale

Fo : fluorescence émise au début de l'illumination

FST: Faculté des Sciences et Techniques

FTSW: Fraction of Transpirable Sol Water

FV: Composante variable de la fluorescence

Fv/Fm : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale

HSIDF : Hauteur Sol Insertion Dernière Feuilles

HSP : Hauteur Sol Panicule

INFVR : Indice de Nombre de Feuilles Restées Vertes

ICRISAT: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

IR: Indice de Récolte

ISRA : Institut Sénégalais de Recherche Agricole

ITA : Institut de Technologie Alimentaire

JAS: Jour Après Semis

M : Moyenne Essai

NE : Nombre d'Epis

NFRV : Nombre de Feuilles Restées Vertes

NFT Nombre de Feuilles Totales

NT : Nombre de Talles

P : Probabilité

PE : Poids Epis

PG : Poids Grain

Pi : Performance Index

PMG : Poids Mille Grains

PP : Poids Paille

SAS: Statistical Analysis System

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

TF : Température Foliaire

UCAD: Université Cheikh Anta Diop

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution de la température au cours de l'expérimentation	11
Figure 2: Evolution de l'humidité relative de l'air au cours de l'essai	12
Figure 3: Evolution de la fraction d'eau transpirable (FTSW) par les plantes au cours de l'essai.....	13
Figure 4 : Méthode de mesure de la hauteur d'un plant (House, 1987).....	16
Figure 5 : Corrélation entre les variables agro-morphologiques et physiologiques des variétés et les deux premières dimensions de l'ACP	23
Figure 6 : Projection des classes de variétés selon les paramètres agro-morphologiques et physiologiques dans le plan factoriel de l'ACP	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variation des caractéristiques agro-morphologiques et phénologiques suivant les variétés.	21
Tableau 2 : Effet génotype sur les variables physiologiques suivant les stades phénologiques.	22
Tableau 3. Variables agro-morphologiques et physiologiques discriminantes des classes des variétés	26
Tableau 4 : Relation entre les composantes de rendements	27
Tableau 5 : Relation entre les composantes du rendement et les variables de croissance végétative	28
Tableau 6 : relation entre les composantes de rendement et les variables phénologique	28
Tableau 7 : Corrélation entre les composantes du rendement et les variables physiologique.....	29
Tableau 8 : Proposition de modèle suivant les régresseurs pour le rendement en grain	30
Tableau 9 : Coefficients du modèle optimal du rendement en grain	30

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
Abstract	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	v
INTRODUCTION.....	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1. Généralité sur le sorgho de décrue	4
1.2. Définition de la culture de décrue.....	4
1.3. Description morphologique	5
1.4. Ecologie	6
1.5. Contraintes à la production.....	6
2. Effet du stress hydrique sur le sorgho	7
2.1. Appareil aérien	7
2.2. Fonctionnement interne	7
1. Situation géographique et climatique du site	11
2. Conditions expérimentales	11
2.1. Température de l'air	11
2.2. Humidité relative	12
2.3. Matériel végétal	12
2.4. Mesure de l'état hydrique du sol	12
2.5. Dispositif expérimental.....	13
3. Conduite de l'essai	14
4. Mesure expérimentale	14
4.1. Suivi phénologique	14
4.2. Collecte des données agro-morphologiques	15
4.2.1. Nombre de feuilles	15
4.2.2. Nombre de plants à la levée	15
4.2.3. Hauteur des plants.....	15
4.2.4. Senescence	16
4.2.5. Rendement et ses composantes	17
4.3. Mesures physiologiques	17

4.3.1. Fluorescence chlorophyllienne	17
4.3.2. Température foliaire.....	18
5. Analyse des données	18
RESULTATS	21
1. Résultats	21
1.1. Variation des caractéristiques agro-morphologiques et phénologiques suivant les variétés.....	21
1.2. Variation des caractéristiques physiologiques des variétés suivant les stades phénologiques.....	22
1.3. Adaptation des différentes variétés en condition de décrue	22
1.4. Relation entre les composantes de rendement	27
1.5. Relation entre les composantes de rendement et les variables de croissance végétative	27
1.6. Relation entre les composantes du rendement et les variables phénologiques.....	28
1.7. Relation entre les composantes de rendement et les variables physiologiques.....	29
1.8. Relations allométriques régissant le poids grain	29
1.9. Rendement en grain	30
2. Discussion	31
Conclusion.....	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36
ANNEXES :	i

INTRODUCTION

Le sorgho [*Sorghum bicolor*] est une plante d'origine tropicale de la famille des Graminées. C'est une plante de région chaude et de par sa plasticité est susceptible de croître aussi bien dans les régions tempérées que tropicales. En effet avec 57 millions de tonnes récoltées dans le monde en 2012, le sorgho grain vient au cinquième rang des productions de céréales après le maïs, le blé, le riz et l'orge (FAOSTAT, 2013). Le sorgho occupe la 5^e position parmi les céréales cultivées dans le monde en raison de son volume de production et de l'étendue des superficies de culture (Kebe, 2001). Elle est l'une des principales cultures dans les régions pauvres du monde, où la sécurité alimentaire est la plus menacée. Le rôle de ses grains est important dans l'alimentation des habitants de ces régions, voire primordial en zones semi-arides. Dans les pays du nord, le sorgho est destiné à l'alimentation animale sous forme de grains ou de fourrage. Au Sénégal, il constitue avec le mil, la base de l'agriculture vivrière de la population (Ba *et al.*, 2010). Pour la campagne de 2013-2014, la production nationale avoisinait 108.803 tonnes sur une superficie totale de 92.029 ha (ANSD, 2015).

Le sorgho en régions semi-arides est cultivé la plupart du temps dans des environnements contraignants. Au Sénégal en particulier, il est cultivé en saison de pluies et en condition de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal, et rarement sous irrigation. Les superficies occupées par le sorgho de décrue sont dérisoires au vue du sorgho pluviale et il est toujours cultivé selon les pratiques ancestrales, conséquences du faible intérêt que la recherche lui a accordé jusqu'ici (ISRA, 2005).

Cependant, le sorgho de décrue constitue un aliment de soudure pour les populations de la vallée du fleuve Sénégal et à ce titre, il joue un rôle important dans leur sécurité alimentaire. Par conséquent, il mérite une plus grande attention. Néanmoins, quelques actions de recherches ont été réalisées pour la compréhension du système de culture de décrue et l'amélioration de sa productivité. Toutefois, force est de constater qu'elles demeurent encore insuffisantes (Ponga et Pagès, 2001), car le potentiel de rendement du sorgho est loin d'être atteint pour la culture de décrue. Au vu, des contraintes qui limitent sa productivité, deux d'entre elles, la sécheresse et le manque, voire l'absence, de variété à haut rendement, constituent la cible de ce présent travail.

L'étude vise globalement à évaluer l'adaptation des variétés de sorgho en culture de décrue en vue de l'amélioration de leur productivité. Spécifiquement elle vise à :

- i. évaluez les caractéristiques agro-morphologiques et physiologiques des variétés de sorgho en conditions de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal;
- ii. identifier des caractères expliquant la productivité du sorgho en culture de décrue.

Ce document est subdivisé en quatre parties. La première partie présente une synthèse bibliographique comportant les généralités sur le sorgho de décrue et les caractères agromorphologiques et physiologiques suivis. La deuxième partie renseigne sur le matériel végétal utilisé ainsi que la méthodologie employée pour faire cette étude. La troisième partie expose les résultats obtenus et leur discussion. Enfin, la quatrième partie contient la conclusion et les perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur le sorgho de décrue

1.1. Importance de la culture

Le sorgho de décrue joue un rôle considérable dans la sécurité alimentaire des populations rurales et pauvres des pays sahéliens. Il vient en appui aux productions de saison de pluies pour réguler l'offre de sorgho pour les producteurs et consommateurs ruraux et pour fournir une source de revenus servant à la satisfaction des autres besoins des producteurs (Kebe, 2001). Cependant, une certaine appréciation de ce rôle peut être obtenue dans les pays où des informations sur les cultures sont disponibles. Par exemple au Sénégal, l'arrivée tardive des récoltes de décrue (de février à mars) dans le bassin du fleuve Sénégal, avec leurs apports considérables en céréales, permet le remplissage des greniers des paysans au moment où les stocks (récoltes d'octobre) ont considérablement baissé, du fait de la consommation des ménages. Cet approvisionnement a pour effet de prolonger la période d'autosuffisance alimentaire des producteurs au-delà de la moyenne de 6 mois observée dans d'autres pays du Sahel, par exemple Burkina Faso, et de permettre la génération de revenus non négligeables en cas de surplus de subsistance. Du point de vue de la nutrition animale, les récoltes de décrue fournissent des ressources fourragères substantielles (résidus de récolte) pour le bétail. L'utilisation de ces résidus permet d'augmenter la productivité du bétail affaibli par le manque de pâturages (Kebe, 2001) et par conséquent améliorer la situation alimentaire et les revenus des producteurs (meilleure production de lait et de viande, prix attractifs des animaux sur pieds, etc.).

L'importance économique du sorgho de décrue est considérable et sa culture mérite un support important pour servir pleinement son rôle de 'pont' alimentaire entre les récoltes de saison de pluies généralement déficitaires au Sahel (Kebe, 2001).

1.2. Définition de la culture de décrue

La notion de culture de décrue reste très difficile à préciser. Cette difficulté est liée à la grande variabilité des différents systèmes de culture de décrue (Bretaudeau et *al.*, 2001). La notion de culture de décrue est souvent confondue avec la culture des variétés *durra* ou avec le semis des sorghos en dehors de la saison des pluies. Ainsi, certains auteurs privilégient comme critère les races cultivées, d'autres, les cycles des variétés, les périodes de semis ou les conditions d'alimentation hydrique des plantes. La définition la plus simple est de considérer comme culture de décrue toutes les cultures excluant la culture pluviale stricte et la culture irriguée (Bretaudeau et *al.*, 2001).

La culture de décrue est une forme de culture pratiquée dans certains pays dont le Cameroun, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Nigeria, le Sénégal, Tchad, l'Inde etc. En Afrique de l'Ouest et du Centre, le sorgho est la principale culture de décrue ; elle représente environ 85% des superficies en cultures de décrue (Cissé, 2001).

Selon (Chantereau et Nicou, 1991) la culture de décrue est conduite en saison sèche sur des terroirs particuliers sans faire appel à l'irrigation et la plante se développe sans pluie, puisant, grâce à son système racinaire profond, l'eau emmagasinée dans le sol (Le ROY, 2005). Cette culture est soumise à un régime de vents qui peuvent certaines années compromettre les perspectives de récolte.

Au Sénégal, la culture du sorgho de décrue est effectuée dans la vallée du fleuve Sénégal. Il se cultive en début de saison sèche, dans des terres exondées, encore gorgées d'eau par leur submersion prolongée en saison des pluies (Le Roy, 2005). Bien adapté à des zones à disponibilité en eau contrastée au cours de l'année, où l'abondance en eau alterne avec une longue période de sécheresse, le sorgho permet une utilisation différée de la ressource

1.3. Description morphologique

Le sorgho de décrue à l'instar de sorgho d'hivernage est constitué d'un système racinaire, d'une tige et d'une inflorescence. En raison de leur capacité à se développer avec les seules réserves hydriques du sol les sorghos de décrue ont une grande résistance à la sécheresse. Celle-ci est certainement liée à des particularités de leur système racinaire supposé important, profond et apte à extraire de l'eau dans des sols argileux (Chantereau, 2001). Selon Chopart (1980) la longueur du système racinaire peut atteindre 110 à 130 cm de profondeur. Le sorgho n'a généralement qu'une seule tige, solide et érigée avec un tallage réduit pour ceux de décrue. Selon Mathieu (2005) la hauteur de la plante de sorgho dépend du nombre de nœud émis et la taille des entre nœuds. Le pédoncule du sorgho de décrue est souvent crossé et sans doute sélectionné par les paysans, car il facilite la protection contre les attaques d'oiseau (chantereau, 2001). Les feuilles sont distribuées de façon variable le long de la tige chez le sorgho. Leur nombre varie de 7 à plus de 30 en fonction des cultivars (Chantereau et Nicou, 1991). Leur panicule dense et massue (Chantereau, 2001) est une inflorescence constituée d'un axe central, le rachis d'où partent des branches primaires souvent groupées en verticille le long du rachis. Elle mesure de 20 à 25cm chez les variétés à panicule compacte (House 1987) et de 12 à plus de 60 cm chez les variétés à panicule lâche de type Guinea (Zongo, 1991). Leur grain est gros avec, parfois, un albumen vitreux. Cependant, en relation avec la

pression parasitaire aviaire, il existe des sorghos de décrue qui ont des graines à albumen farineux avec une couche brune (Sapin, 1971).

1.4. Ecologie

L'originalité suspectée chez le sorgho de décrue est sa faible sensibilité aux basses températures nocturnes, qui explique leur aptitude à croître et à fructifier en pleine saison sèche froide contrairement au sorgho d'hivernage (Chantereau *et al.*, 1998). Une partie des variétés de sorgho et de mil sont dites photopériodiques parce que la durée de leur cycle semis-floraison change avec la date de semis, tandis que chez les variétés non photopériodiques la durée de ce cycle reste fixe. Les sorghos de décrue sont vraisemblablement des plantes photopériodiques de jours courts. Ce point de vue est soutenu par deux observations : d'une part, en situation de jours décroissants, un sorgho de décrue fleurit à peu près à la même période quelle que soit sa date de semis, laquelle varie selon l'importance de la crue et la période du retrait des eaux. D'autre part, son cycle est d'autant plus court que sa date de semis est tardive dans l'année (Viguier, 1947 ; Barrault *et al.*, 1972). Le sorgho de décrue est cultivé sur des vertisols ou des terres hydromorphes au moment où l'inondation se retire. C'est sur ces sols argileux à forte capacité de rétention d'eau que cette culture se développe (Chantereau, 2001).

1.5. Contraintes à la production

Les sécheresses ont beaucoup réduit les surfaces occupées par le sorgho de décrue (Ndiaye, 1991). Les contraintes au développement de la culture du sorgho de décrue peuvent être classées en trois groupes :

❖ Contraintes abiotiques

Parmi les contraintes abiotiques, on peut retenir :

- la pauvreté des sols, qui limite considérablement l'amélioration des rendements des variétés existantes ;
- l'incertitude des périodes de décrue, dont dépend la mise en place du semis ;
- les sécheresses en cours de végétation, qui limitent l'activité photosynthétique et donc le rendement.

❖ Contraintes biotiques

La pression des maladies mais surtout des insectes est liée au cycle cultural du sorgho de décrue au moment où il est le seul refuge possible restant pour les ennemis des cultures. Les principales contraintes biotiques sont :

- le faible potentiel de productivité des variétés disponibles ;

- les insectes comme les foreurs des tiges, notamment la sésamie, et les insectes de la panicule ;
- les maladies, notamment les moisissures responsables de la mauvaise germination des graines, les charbons de la panicule et l'anthracnose. Selon Chantereau et Nicou (1991) les maladies du sorgho sont nombreuses et les plus importantes au Sénégal sont celles qui affectent la panicule. Les maladies foliaires et des tiges ont des incidences faibles. La sévérité de la maladie est fonction de la précocité de l'infection et de la sévérité du stress hydrique (Sarr et Ndiaye, 1999) ;
- les mauvaises herbes ;
- les oiseaux granivores.

2. Effet du stress hydrique sur le sorgho

2.1. Appareil aérien

La contrainte majeure de la culture de décrue est le déficit hydrique. Il est l'une des contraintes les plus courantes de l'environnement qui influe sur la croissance et le développement des plantes (Sadras et Milroy, 1996 ; Aslam *et al.*, 2006). Le sorgho de décrue étant une culture excluant la culture pluviale stricte et irriguée (Bretaudeau *et al.*, 2001) ne dépend que de la réserve d'eau du sol pour sa croissance. Ainsi, le stress hydrique peut survenir à n'importe quelle phase de développement et entraver le rendement escompté. Les travaux de Radhouane *et al.* (2014) sur le déficit hydrique du sorgho appliqué aux différents stades phénologiques ont montré que la phase phénologique la plus sensible et qui entraîne une baisse significative du rendement, est le stade gonflement-épiaison.

Craufurd *et al.* (1993) ont montré qu'un stress hydrique appliqué en phase végétative et pré-florale cause un retard de l'initiation paniculaire et de la floraison. Le stress hydrique en début et en fin de cycle vont allonger ou raccourcir le cycle normal des génotypes. Les effets les plus remarquables du déficit hydrique sont la réduction de la taille des plantes, de la surface foliaire et de la production de matière sèche (Huda *et al.*, 1987). Pour Murty *et al.* (1995) tout stress intervenant durant la formation de la panicule va provoquer une diminution des ramifications, et du nombre de grains par panicule.

2.2. Fonctionnement interne

L'eau est un élément indispensable pour la photosynthèse. Elle est un facteur limitant pour le sorgho de décrue. Lors d'un déficit hydrique, l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse et la conductance stomatique qui est un indicateur du taux

de transpiration foliaire et un paramètre de l'état hydrique de la plante sont affectées (Lowlor, 2002 ; Lowlor et Cornic, 2002). La réduction de la photosynthèse, liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste à fixer le CO₂ (Tardieu et Simoneau, 1998; Escolar *et al.*, 1999 ; Flexas et Medrano, 2002). La limitation de l'activité photosynthétique est due à la réduction de la fourniture du CO₂ aux sites de carboxylation dans les chloroplastes. Cette limitation se produit dès la perception précoce du déficit hydrique et elle est la conséquence de la fermeture des stomates en réponses à des signaux racinaires. La limitation de la fourniture en CO₂ n'est pas un mécanisme adaptatif, mais une conséquence de la nécessité de réduire les pertes en eau du couvert. La fermeture des stomates marque une limitation de la transpiration. La température foliaire varie avec la transpiration foliaire par conséquent c'est une fonction de la conductance stomatique. Lorsque la plante soumise à un stress hydrique ferme ses stomates, cela entraîne donc une réduction de la conductance stomatique et de la photosynthèse, mais aussi une augmentation de la température foliaire.

Par ailleurs, la lumière absorbée par l'appareil photosynthétique n'est pas totalement transformée en énergie chimique. Une partie est perdue sous forme de chaleur et de fluorescence. A température ordinaire, l'émission de fluorescence chlorophyllienne provient essentiellement de l'antenne collectrice du photosystème II (PSII).

D'une manière pratique, la majorité des études utilisant la fluorescence chlorophyllienne se basent sur « l'effet Kautsky » qui se produit lorsque des feuilles photosynthétiquement actives sont placées à l'obscurité puis illuminées, des changements dans l'intensité de la fluorescence intervenant dans le temps. Cette évolution est appelée « l'effet Kautsky ».

L'analyse de la fluorescence chlorophyllienne et de ses composantes photochimiques et non photochimiques sous contrainte hydrique, montre une perturbation au niveau des réactions photochimiques de la photosynthèse avec un blocage du transfert d'électrons (O'Neil *et al.*, 2006). La diminution du taux d'assimilation du CO₂ chez les feuilles est associée à une inhibition de la photosynthèse, ce qui provoque une augmentation de la dissipation de l'énergie d'excitation du PSII entraînant des photo-endommagements des centres réactionnels du PSII (Sayed, 2003 ; Baker et Rosenqvist, 2004 ; O'Neil *et al.*, 2006). Pour estimer l'efficacité photochimique maximale du PSII Jagtap *et al.*, (1998) ont montré que le déficit hydrique engendre une diminution importante du rapport Fv/Fm chez cinq variétés de sorgho.

CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES

I. MATERIEL

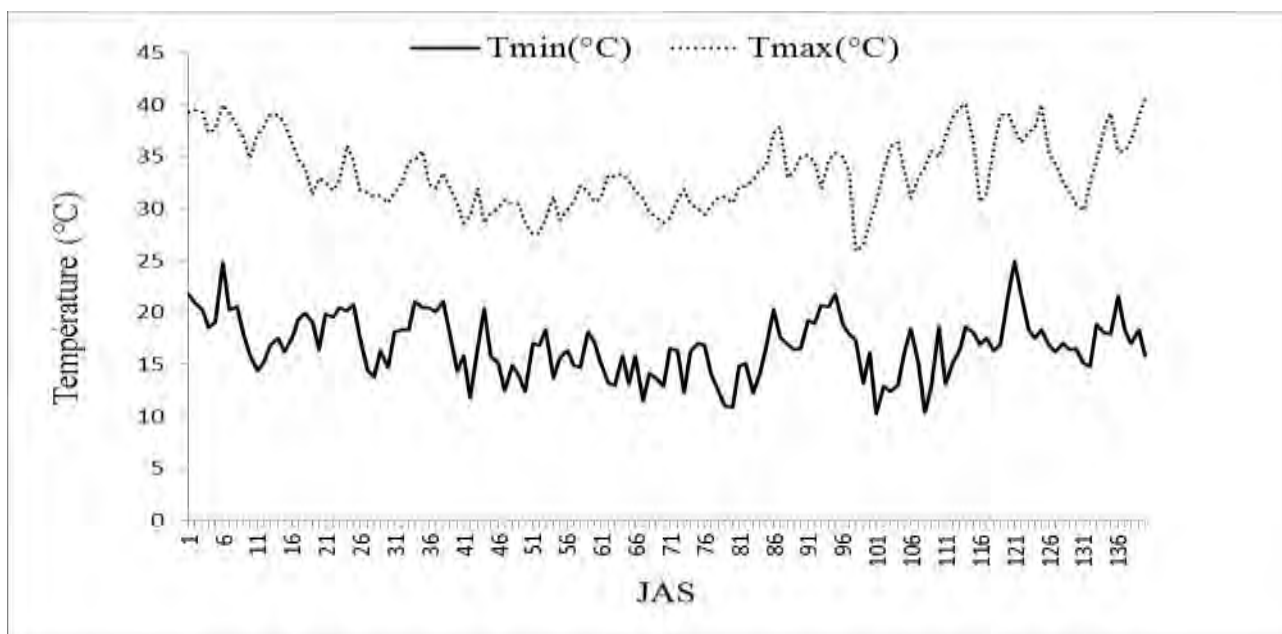
1. Situation géographique et climatique du site

L'essai a été conduit dans la région de Saint Louis, plus précisément à Fanaye (commune de Podor), dans un champ paysan qui se situe à 16°32'42'' N 15°12'45''W à une altitude de 7 m au-dessus de la mer. Fanaye est doté d'un climat désertique avec une saison sèche et une saison des pluies. La saison sèche allant de novembre à juin et la saison des pluies commence en juillet au plus tôt et peut aller jusqu'en début octobre. Les précipitations annuelles moyennes sont de 235mm. La température moyenne est de 27,9°C.

2. Conditions expérimentales

2.1. Température de l'air

Durant l'essai, la température de l'air a été comprise entre 26,5 et 41,2°C pour les maxima et 10 à 25°C pour les minima. Les hautes températures enregistrées pour les maxima jusqu'aux environs de 41,2°C vers la fin de l'essai sont dues à l'installation progressive de la saison chaude (Figure 1).

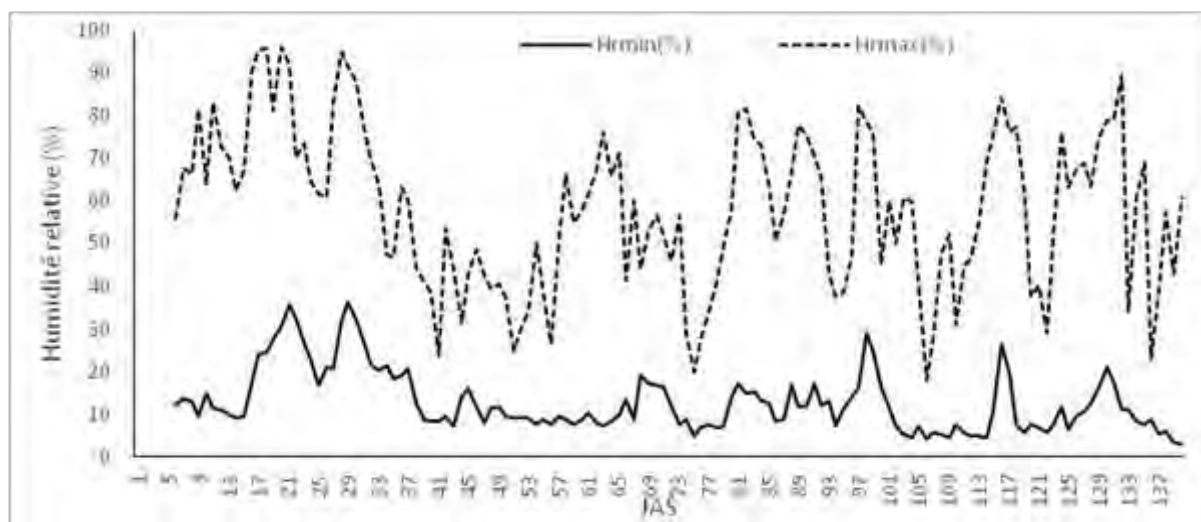


JAS : Jour Après Semis

Figure 1: Evolution de la température au cours de l'expérimentation

2.2. Humidité relative

L'humidité relative a oscillé autour de 55 à 95% pour les valeurs maximales du 1^{er} au 36^{ème} jour après semis et du 41^{ème} jour après semis à la fin du cycle, elle a varié entre 25 à 90%. Pour les minima, elle a varié de 2 à 35% sur l'ensemble du cycle (Figure 2).



JAS : Jour Après Semis

Figure 2: Evolution de l'humidité relative de l'air au cours de l'essai

2.3. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué d'une collection de travail de 51 variétés de sorgho, 50 variétés étudiées et une variété locale comme témoin. Une partie de ce matériel végétal provient des 3 pays, que sont le Burkina Faso, le Mali et le Sénégal. L'autre partie des variétés provient de la core collection constituée par le CIRAD et l'ICRISAT. L'annexe 1 montre la liste du matériel végétal.

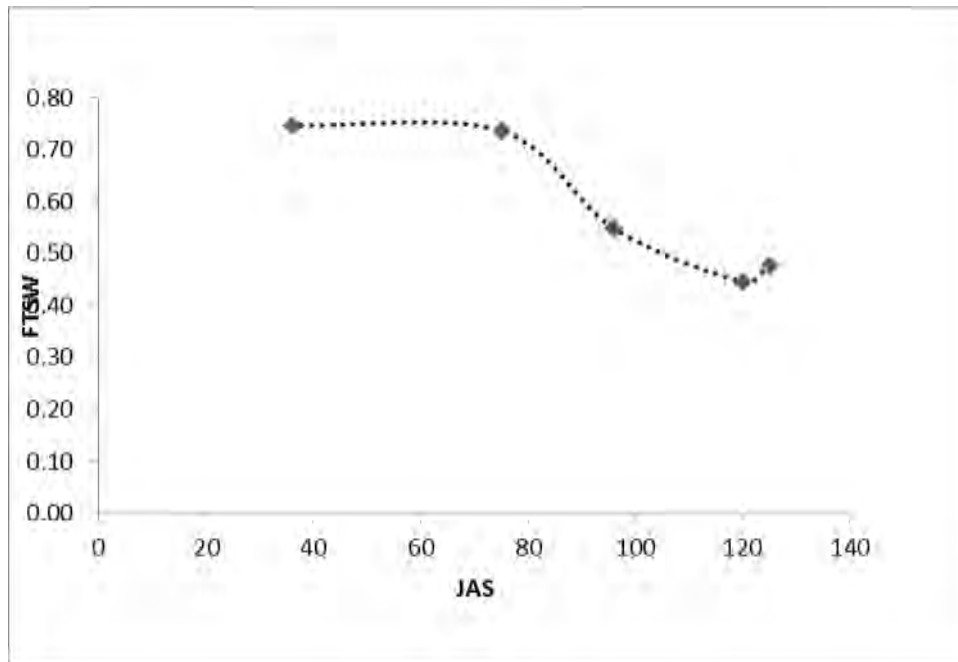
II. METHODES

2.4. Mesure de l'état hydrique du sol

L'humidité du sol a été mesurée au cours de l'essai grâce à la sonde DIVINER 2000. Ce dernier est un dispositif de mesure et de gestion de l'humidité du sol, portable. Il comprend une sonde et un boîtier enregistreur qui a la capacité de faire 99 points de mesures. Les mesures sont obtenues en laissant glisser le capteur capacitif tout le long d'un tube d'accès. Ainsi, en quelques secondes jusqu'à 16 mesures représentatives de 16 horizons de sol de 10 cm de hauteur peuvent être enregistrées, soit 160 cm de profondeur au total.

Les résultats de mesure d'humidité du sol ont permis de calculer la fraction d'eau du sol transpirable par les plantes (FTSW). Les valeurs de cette dernière montre s'il y a présence ou

absence de stress hydrique. Selon Tossim (2011), les valeurs de FTSW comprises entre 0,8 et 0,45 correspondent à une absence de stress. Durant la conduite de l'essai les valeurs de la FTSW obtenues, ont été maintenues entre 0,74 et 0,45. Ces valeurs indiquent que les plantes n'ont pas subi un stress hydrique durant leur cycle (Figure 3).



JAS : Jour Après Semis

Figure 3: Evolution de la fraction d'eau transpirable (FTSW) par les plantes au cours de l'essai

2.5. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé dans cet essai est un alpha plan avec le témoin local répété quatre fois dans chaque bloc. Le dispositif est constitué de trois répétitions dont chacune est composée de cinq blocs de dix entrées étudiés. Ainsi, chaque entrée existe une seule fois dans chaque répétition et le témoin vingt fois. Au sein du bloc, la parcelle élémentaire est constituée de deux lignes de 4,05 m. Les écartements entre poquets sont de 90 cm x 45 cm, soit 9 poquets par ligne avec 18 plants par parcelle élémentaire. Une allée de 1,5 m est laissée entre blocs successifs (Annexe 2).

3. Conduite de l'essai

La préparation du sol s'est faite au fur et à mesure que la décrue s'opère. Les semis sont effectués en novembre après le retrait de l'eau. L'itinéraire technique est celui recommandé pour l'intensification de la culture du sorgho de décrue, avec une densité de semis de 90 cm x 45 cm en laissant un plant par poquet (en lieu et place de la densité 90 cm x 90 cm avec 2 plants par poquet). Chaque ligne comporte 9 poquets et 18 poquets par parcelle élémentaire. Quatre à cinq graines ont été semées par poquet puis démariées à 1 plant par poquet (18 pieds par parcelle élémentaire) après la levée.

Les autres opérations culturales après le semis ont consisté aux désherbages. Des traitements au diméthoate ont été effectués pendant le cycle de développement des cultures pour minimiser l'incidence des agents ravageurs et autres pathogènes. En début de formation des graines et jusqu'à la récolte, une surveillance du champ est assurée, afin d'éviter les attaques d'oiseaux, et les divagations. Face à la sévérité des dégâts dus aux oiseaux malgré la présence de surveillants, un ensachage nécessaire des panicules des variétés à long cycle a été fait à l'aide de sachets d'autofécondation.

4. Mesure expérimentale

4.1. Suivi phénologique

Le cycle de développement de chacune de ces 51 variétés a été suivi. Les dates de levée, d'épiaison, de floraison, et de maturité ont été notées pour l'ensemble des variétés.

Il a été considéré que la levée était effective lorsqu'au moins 50% des plants sur chaque parcelle élémentaire avaient levé. De même, les dates d'épiaison, de floraison et de maturité n'ont été notées que lorsque 50% des plants sur chaque parcelle élémentaire avaient atteint le stade correspondant. L'épiaison était considérée comme atteinte lorsque la panicule apparaissait, et la floraison lorsque les premiers stigmates sortaient. La floraison apparaît généralement lorsque l'épiaison est achevée. La maturité physiologique selon House (1987) est matérialisée, chez le grain de sorgho, par l'apparition d'un point noir dans la région du hile. Il a été considéré comme effectif lorsque c'est le cas chez les grains de la base de la panicule.

4.2. Collecte des données agro-morphologiques

Un ensemble de caractères agro morphologiques a été mesuré pour chaque variété.

4.2.1. Nombre de feuilles

Un suivi régulier du nombre de feuilles apparues et ligulées a été réalisé afin de renseigner sur la croissance et le développement de la plante. Le nombre total de feuilles produites, mortes ou restées vertes en est déduit à la maturité.

4.2.2. Nombre de plants à la levée

Le nombre de plants levés sur chaque parcelle élémentaire a été relevé. Ceci est fait pour connaître le nombre de poquets levés sur les 18 poquets de chaque parcelle élémentaire.

4.2.3. Hauteur des plants

L'estimation moyenne hauteur sol-insertion dernière feuille et estimation moyenne hauteur sol-sommet panicule a été effectuée sur chaque variété. Les mesures ont été faites sur les 3 pieds de chaque parcelle élémentaire, une fois que la variété correspondante dépasse le stade floraison. Selon House (1987) les tiges de sorgho atteignent leur taille maximale à la floraison.

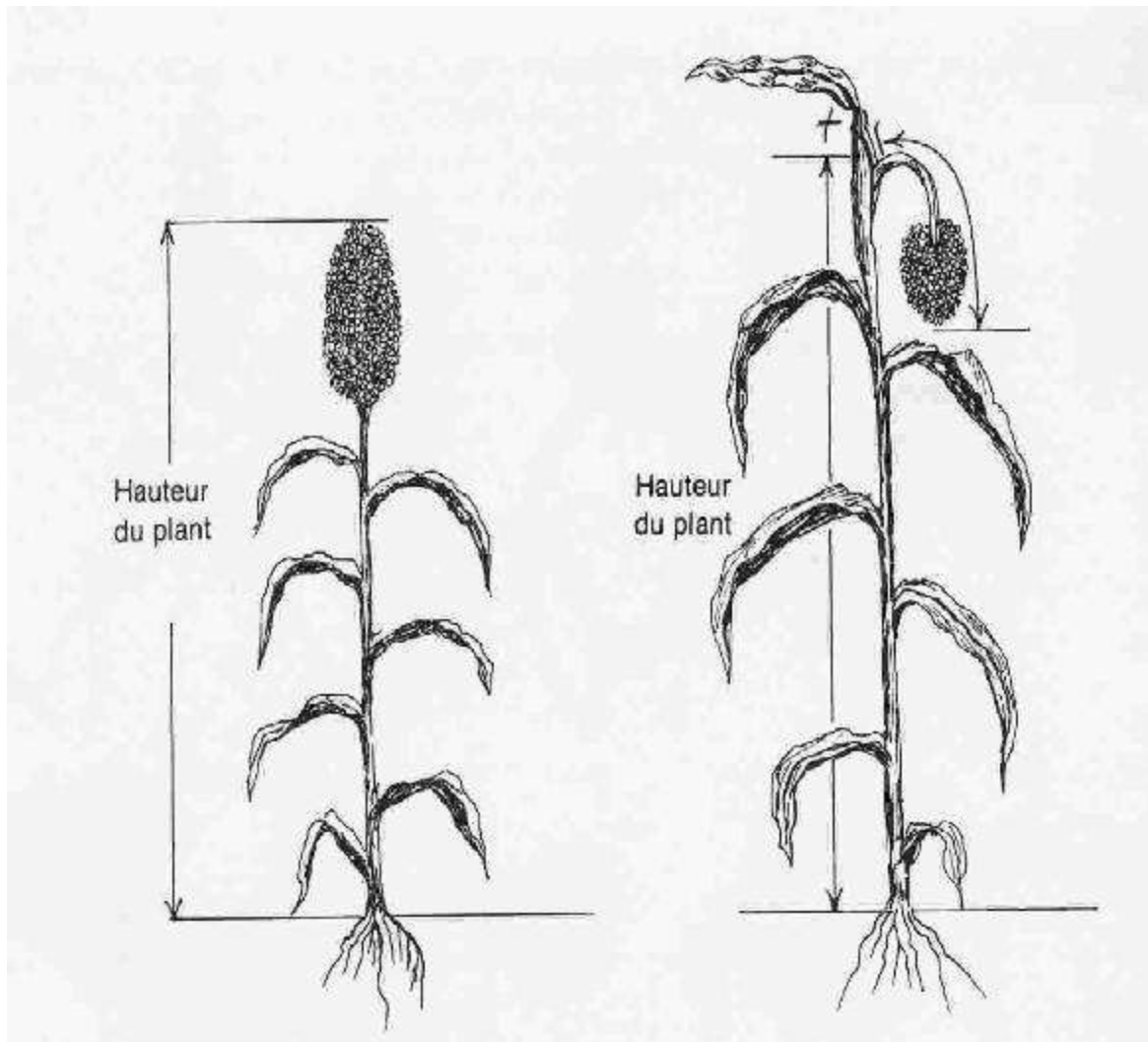


Figure 4 : Méthode de mesure de la hauteur d'un plant (House, 1987)

4.2.4. Senescence

C'est un processus physiologique qui s'observe pendant la phase de maturité. Le sorgho voit ses feuilles séchées et tombées progressivement et les plus anciennes sont les premières.

Toutes les feuilles peuvent sécher ou presque sécher au moment où le grain est mûr.

Une échelle allant de 1 à 5 nous permet d'évaluer la senescence des variétés.

- 1 : pas de senescence
- 2 : faible senescence
- 3 : senescence moyenne
- 4 : forte senescence
- 5 : senescence très forte

4.2.5. Rendement et ses composantes

A la maturité 3 pieds choisis au hasard dans la partie centrale de chaque parcelle élémentaire ont été prélevés. Pour chaque pied prélevé les panicules sont récoltées et séparées de la partie végétative. Les panicules considérées, sont celles qui ont produit de grains. Par ailleurs ; au niveau d'un pied, il existe un brin maître ou tige principale avec une ou plusieurs talles qui constituent dans leur ensemble les parties végétatives. Quand le brin maître est avec une talle, cela fera 2 parties végétatives et ainsi de suite. Chaque partie végétative peut porter ou non une panicule selon qu'elle a ou non épiée. Pour la suite, le nombre de parties végétatives sera noté, par simplification nombre de talles. Les panicules et la partie végétative sont mises dans des enveloppes en papier kraft séparées. Après un séchage à l'air libre durant 10 jours au moins, l'ensemble des panicules de chaque pied et ainsi que les parties végétatives ont été pesées séparément.

Le poids des parties végétatives correspond au poids de la paille sèche. Après pesée, les panicules ont été passées directement au battage. Cette opération a permis de procéder ensuite à l'estimation du poids des grains des panicules sur chaque pied récolté. Pour toutes les variétés, le poids de 1000 grains a été estimé. Le comptage des 1000 grains a été fait à l'aide d'un numigral. Cet appareil est muni d'un système de détection de particules qui lui permet de compter un nombre exact de grains préalablement programmé. Le poids mille grains est déterminé pour chaque variété à l'aide d'une balance de précision de 1 g.

4.3. Mesures physiologiques

Pendant la conduite de l'essai et durant la phase végétative les mesures physiologiques à savoir : la température foliaire, la photosynthèse, la conductance stomatique, la fluorescence chlorophyllienne et la transpiration ont été faites une fois. Et pendant la phase floraison maturité ces mesures physiologiques sont faites 3 fois. Cependant, seules les données de la fluorescence chlorophyllienne et de la température foliaire ont été exploitées dans ce document.

4.3.1. Fluorescence chlorophyllienne

La fluorimétrie est une technique qui permet de mesurer le pouvoir de transformation de l'énergie absorbée par une plante en énergie photochimique par l'appareil photosynthétique. Même si la majeure partie de cette énergie lumineuse (environ 85%) est utilisée à l'intérieur du processus photosynthétique, une certaine quantité d'énergie d'excitation est perdue par fluorescence (3 à 5%, ré-émis sous forme d'émission de lumière à grande longueur d'onde).

La fluorescence provient dans la majeure partie des cas, de la molécule de chlorophylle a, (qui absorbe à 680 nm) associée au PSII. Elle varie entre un niveau minimal (F_o) et un niveau de fluorescence maximum (F_m). Sa mesure est largement utilisée pour caractériser l'efficacité du PSII des plantes soumises à divers stress environnementaux.

Dans notre méthodologie de travail, et pour déterminer les valeurs F_o et F_m , deux étapes sont nécessaires. La première étape consiste à stopper l'activité photosynthétique sur une petite surface de la feuille pour rendre les centres réactionnels disponibles. Pour cela, on place un clip sur la feuille qui permet de mettre la surface-test à l'obscurité. Le clip est laissé pendant 30 minutes pour permettre à la chaîne de transfert d'électrons le temps de se « vider ».

La deuxième étape consiste à envoyer un flash lumineux sur la surface test. Le PSII est alors excité. L'énergie lumineuse qui ne peut pas être collectée par le PSII, déjà saturé, est alors réémise sous forme de fluorescence. Quelques variables les plus pertinentes de la fluorescence sont :

- F_o qui correspond à la valeur de fluorescence émise au début de l'illumination ;
- F_m correspond à la valeur de fluorescence maximale obtenue pour une intensité lumineuse donnée ;
- F_v est la composante variable de la fluorescence ($F_m - F_o$) ;
- F_v/F_m est le rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale. Ce rapport est un indicateur de stress ;
- P_i est l'indice de performance.

4.3.2. Température foliaire

La température foliaire est une donnée complexe qui dépend non seulement de l'état hydrique de la plante, mais également des conditions climatiques (vitesse du vent, passage nuageux). Elle a été prise à l'aide d'un télé-thermomètre entre 11 h et 14 h de la journée. Un laser est envoyé sur une feuille d'un plant et l'écran affiche la température foliaire.

5. Analyse des données

Une analyse de variance a été effectuée sur les données agro morphologiques, phénologiques et physiologiques à différentes phases (végétative, épiaison et floraison). Les conditions de normalité (Shapiro et Wilk, 1965) et d'homoscédasticité (Snedecor and Cochran, 1956) sur les résidus du modèle ont été vérifiées en vue de leur validation. Le test de structuration de moyenne de Tukey a été utilisé pour séparer les moyennes dans le cas où l'effet du facteur génotype est significatif.

Une analyse en composantes principales suivie d'une classification numérique a été effectuée

Des tests de corrélation de Pearson ont été effectués pour établir les corrélations entre les variables étudiées. Ceci a permis d'identifier les variables les plus corrélées aux composantes de rendement.

La régression linéaire multiple a été effectuée en utilisant la méthode de sélection progressive (forward et backward) pour l'estimation du poids grain (PG). Les conditions de normalité (Chapiro and Wilk, 1965) et d'homoscédasticité (Breush et Pagan, 1979) des résidus de régression, d'indépendance des résidus par le test de Durbin-Waston (Durbin and Waston, 1950) et de linéarité (test de Ramsey Reset) ont été vérifiées en vue de la validation du modèle linéaire retenu. Le choix des modèles a été basé sur les critères AIC, BIC et R^2 . De faibles valeurs d'AIC et de BIC indiquent une meilleure minimisation du risque quadratique et le R^2 évalue la proportion de variation des variables à expliquer.

L'analyse de variance a été faite avec le logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9.3, les corrélations ont été obtenues grâce au logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), la régression linéaire multiple a été faite avec le logiciel R (version 3.2.0, 2015).

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS

1. Résultats

1.1. Variation des caractéristiques agro-morphologiques et phénologiques suivant les variétés.

Les résultats de l'analyse de variance des variables agro-morphologiques et phénologiques sont consignés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Effet génotype sur les variables agro-morphologiques et phenologiques

Variables	F value
NT	11,68***
NE	6,13***
PP	2,57***
PE	3,18***
PG	3,81***
PMG	21,1***
BA	1,90**
IR	3,58***
NFT	8,50***
NFRV	1,91**
INFRV	1,29 ns
HSIDF	18,52***
HSP	14,94***
DES	9,76***
DSF	9,91***
DSM	3,42***
DFM	3,08***

* P<0.05 significatif, ** : P<0.001 hautement significatif, ***: P<0.0001 très hautement significatif, ns : non significative
NT : nombre de feuilles totales, NE : nombre d'épis, PP : poids paille, PE : poids épis, PG : poids grain, PMG : poids mille grains, IR : indice de récolte, BA : biomasse aérienne, NFT nombre de feuille total, NFRV : nombre de feuilles restées vertes, INFVR : indice de nombre de feuilles restées vertes, HSIDF : hauteur sol insertion dernière feuilles, HSP : Hauteur sol panicule, DES : duré semis épiaison, DSF : durée semis floraison, DSM : Durée semis maturité, DFM : durée floraison maturité, M : moyenne essai, P : probabilité

L'effet variétal est significatif pour la totalité des variables agro-morphologiques (NT, NE, PP, PE, PG, PMG, BA, IR, NFRV, HSIDF, HSP), excepté l'indice de nombre de feuilles restées vertes (INFRV). Il en est de même pour les variables phénologiques (DSE, DSF, DSM, DFM) (Tableau 1). Les différences très significatives ($p<0,01$) à hautement significatives ($p<0,001$), révèlent une diversité d'expression de la collection de travail dans l'environnement de culture du sorgho de décrue.

1.2. Variation des caractéristiques physiologiques des variétés suivant les stades phénologiques

Les résultats de l'analyse de variance des variables agro-morphologiques sont consignés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Effet génotype sur les variables physiologiques suivant les stades phénologiques.

	Phase végétative		Epiaison-floraison		Maturité	
	M	P	M	P	M	P
Fo	430,6	0,004	376,7	0,001	367,1	0,128
Fm	1800,9	0,001	1855,7	0,02	1684,2	0,205
Fv	1370,8	0,001	1478,9	0,068	1316,3	0,164
Fv/Fm	0,75	<0,001	0,8	0,526	0,8	0,121
Pi	1,7	0,002	2,9	0,005	2,8	0,02
TF	27	<0,001				

Fo : fluorescence émise au début de l'illumination ; Fm : fluorescence maximale obtenue pour une intensité lumineuse donnée ; Fv : composante variable de la fluorescence ; Fv/Fm : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale.

Pi : indice de performance ; TF : température foliaire, P : probabilité, M : moyenne essai

Durant la phase végétative l'effet variétal est significatif sur tout l'ensemble des caractères de fluorescence y compris la TF. Cependant, Fv et Fv/Fm ne présentent aucune différence significative durant la phase épiaison-floraison. Durant la phase de maturation aucun des variables de fluorescence ne présente une différence significative excepté Pi (tableau 2). Les différences très significatives ($p < 0,01$) à hautement significatives ($p < 0,001$), observé à la phase végétative révèle que les variétés éprouvent de difficulté à s'implanter à ce stade.

1.3. Adaptation des différentes variétés en condition de décrue

Les résultats de l'analyse en composantes principales ont révélé que les deux premières composantes expliquent 43,07% de la variance totale (Figure 5). Les variables : indice de récolte ($r = 0,71$, $p = 0,000$), poids épis ($r = 0,67$, $p = 0,000$), poids grain ($r = 0,67$, $p = 0,000$), durée floraison-maturité ($0,58$, $p = 0,000$) et nombre d'épis ($r = 0,52$, $p = 0,000$) ont une forte corrélation positive et très hautement significative avec la première dimension.

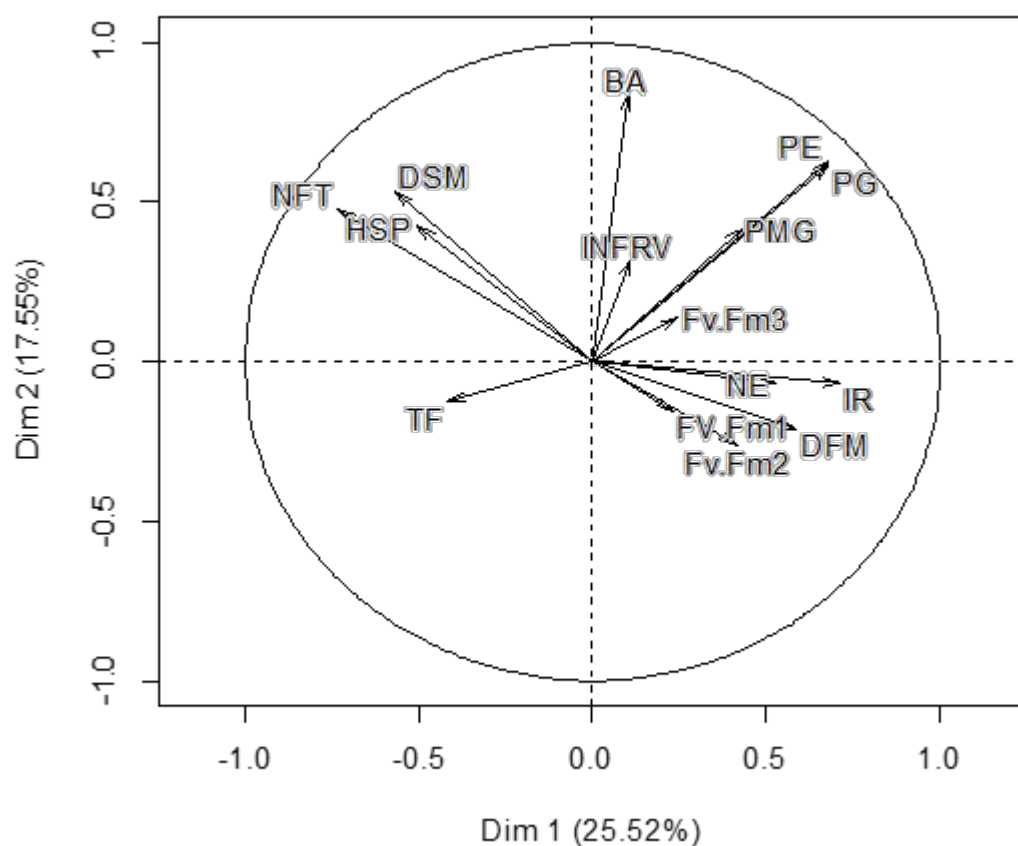
Les variables : poids mille grain ($r = 0,42$, $p = 0,001$), Fv/Fm ($r = 0,41$, $p = 0,002$) ont une faible corrélation positive hautement significative.

Les variables : nombre de feuilles totales ($r = -0,73$, $p = 0,000$), durée semi-maturité ($r = -0,56$, $p = 0,000$) ont une forte corrélation négatif et très hautement significative avec la première dimension et les variables : température foliaire ($r = -0,41$, $p = 0,002$), la hauteur sol panicule

($r=-0,49$ $p=0,001$) ont une faible corrélation négative et hautement significative avec la première dimension.

Les variables : biomasse aérienne ($r=0,83$ $p=0,0000$), poids épis ($r=0,62$ $p=0,000$), poids de grain ($r=0,61$, $p=0,000$), durée semis-maturité ($r=0,53$ $p=0,000$) ont une forte corrélation positive et très hautement significative avec la deuxième dimension.

Les variables nombre de feuilles totales ($r = 0,47$, $p = 0,003$), hauteur sol panicule ($r = -0,42$ $p = 0,001$), l'indice de nombre de feuilles restées vertes ($r=0,31$ $p=0,002$ et le poids mille grain ($0,41$ $p=0,002$) ont une faible corrélation positive et hautement significative avec la deuxième dimension.



NE : nombre d'épis, PE : poids épis, PG : poids grain, PMG : poids mille grains, IR : indice de récolte, BA : biomasse aérienne, NFT : nombre de feuille total, INFVR : indice de nombre de feuilles restées vertes, HSP : Hauteur sol panicule, DSM : Durée semis maturité, DFM : durée floraison maturité, Fv/Fm1 : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale à la phase végétative, Fv/Fm2 : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale à la phase floraison, Fv/Fm3 : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale à la phase floraison-maturité TF : température foliaire

Figure 5 : Corrélation entre les variables agro-morphologiques et physiologiques des variétés et les deux premières dimensions de l'ACP

La classification ascendante numérique sur les composantes principales de l'ACP a indiqué que les 51 variétés ont été regroupées en 4 classes (Figure 6) sur la base des variables agromorphologiques et physiologiques. Les groupes sont : Groupe 1 : V39, V23, V25, V11, V38, V15. Groupe 2 : V4, V1, V24, V34, V26, V33, V40, V14, V30, V32, V5, V10, V9, V47, V17, V2, V21, V16, V29, V3, V6, V31, V36, V46 V12. Groupe 3 : V8, V7, V41, V48, V44, V22, V18. Et le groupe 4 : V20, V49, V50, V28, V43, V37, V35, V51, V45, V19, V13, V27, V42 (l'annexe 1 montre le nom des variétés). Les variables les plus discriminantes des classes sont : le poids de grain, poids mille grains, nombre de feuilles totale, hauteur des plants, la durée semis maturité, la température foliaire, la biomasse aérienne, l'indice de nombre de feuilles restées vertes, poids épis, nombre d'épis, indice de récolte et la durée floraison-maturité. La classe 1 a été caractérisée par des variétés ayant une valeur élevées en poids épis, poids de grain, nombre d'épis, indice de récolte et en biomasse aérienne (V. test ≥ 2 et $p < 5\%$). Ces variétés ont un nombre de feuilles faible (V. test ≤ -2 et $P < 5\%$). La classe 2 est définie par des variétés qui ont une valeur élevée en Fv/Fm ($0,79 \pm 0,01$) observé à la phase épiaison (V. test ≥ 2 et $p < 5\%$). Les variétés de cette classe ont un poids de grain, une hauteur un poids épis, un nombre de feuille, une biomasse très faibles et une durée semis-floraison très courte (V. test ≤ -2 et $P < 5\%$). La classe 3 est caractérisée par les variétés ayant un nombre de feuille, une hauteur importants (Tableau 3) et une durée semis-maturité très longue (V. test ≥ 2 et $p < 5\%$). Ces variété ont un poids épis, poids de grain, indice de récolte, poids mille grains très faible et une durée floraison-maturité courte (V. test ≤ -2 et $P < 5\%$) Enfin les variétés de la classe 4 ont un poids mille grains ($41,13 \pm 6,6$) un poids de grain ($131,41 \pm 29,03$), la biomasse ($252,10 \pm 62,1$), une hauteur très importants (Tableau 3) et un indice de nombre de feuilles restées vertes très élevés (V. test > 2 et $p < 5\%$). Ces variétés présentent une faible valeur en indice de récolte (V. test ≤ -2 et $P < 5\%$). Les variétés de la classe 4 sont plus productives en terme de rendement en grain et du fourrage.

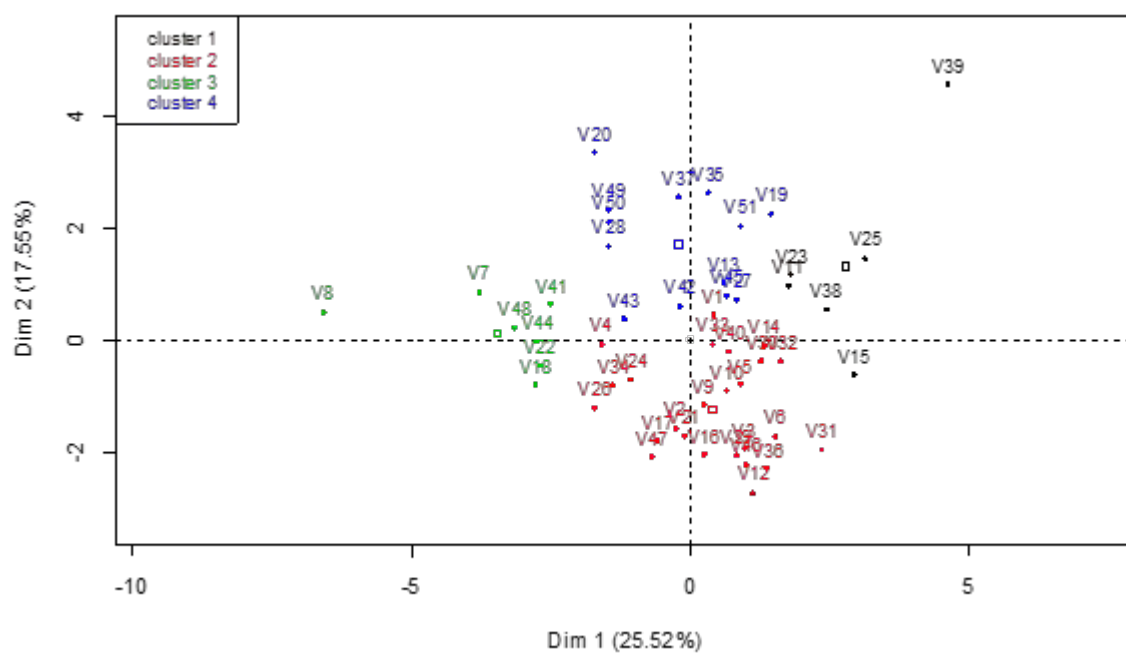


Figure 6 : Projection des classes de variétés selon les paramètres agro-morphologiques et physiologiques dans le plan factoriel de l'ACP

Tableau 3. Variables agro-morphologiques et physiologiques discriminantes des classes des variétés

Variables	Classe	Valeur test	Moyenne $\pm$ Ecart type	Probabilité
PE	1	5,16	175,54 $\pm$ 47,3	0,000
PG		4,70	123,41 $\pm$ 36,29	0,000
NE		3,12	4,54 $\pm$ 1,24	0,001
IR		2,72	0,43 $\pm$ 0,05	0,006
BA		2,63	261,57 $\pm$ 31,4	0,008
NFT		-2,02	12,92 $\pm$ 0,34	0,04
Fv/Fm2	2	2,55	0,79 $\pm$ 0,01	0,01
PG		-2,38	52,42 $\pm$ 19,52	0,01
HSP		-2,51	1,35 $\pm$ 0,30	0,01
PE		-2,56	75,36 $\pm$ 20,88	0,01
DSM		-3,77	120,07 $\pm$ 4,2	0,000
NFT		-3,92	13,33 $\pm$ 1,04	0,000
BA		-4,55	153,26 $\pm$ 33,44	0,000
NFT	3	4,23	17,27 $\pm$ 1,71	0,000
DSM		2,51	127,59 $\pm$ 5,18	0,01
HSP		2,13	1,71 $\pm$ 0,23	0,03
PE		-2,30	56,54 $\pm$ 22,39	0,02
PG		-2,57	33,81 $\pm$ 15,64	0,01
IR		-3,16	0,20 $\pm$ 0,09	0,001
Fv/Fm2		-3,81	0,78 $\pm$ 0,01	0,000
DFM		-4,20	42,26 $\pm$ 7,1	0,000
PMG		-4,44	15,63 $\pm$ 5,75	0,000
PMG	4	4,47	41,13 $\pm$ 6,6	0,000
PG		3,70	131,41 $\pm$ 29,3	0,000
INFRV		3,80	0,26 $\pm$ 0,06	0,000
BA		3,60	252,10 $\pm$ 62,1	0,000
NFT		2,65	15,63 $\pm$ 1,16	0,008
HSP		2,38	1,65 $\pm$ 0,27	0,01
IR		-2,16	0,19 $\pm$ 0,09	0,000

NE : nombre d'épis, PE : poids épis, PG : poids grain, PMG : poids mille grains, IR : indice de récolte, BA : biomasse aérienne, NFT nombre de feuille total, INFVR : indice de nombre de feuilles restées vertes, HSP : Hauteur sol panicule, DSM : Durée semis maturité, DFM : durée floraison maturité, Fv/Fm1 : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale à la phase végétative, Fv/Fm2 : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale à la phase floraison, Fv/Fm3 : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale à la phase floraison-maturité TF : température foliaire

1.4. Relation entre les composantes de rendement

Le poids grain est fortement corrélé aux autres composantes de rendement avec des coefficients de corrélation allant de 0,39 à 0,61. L'indice de récolte n'est corrélé au poids mille grains et la biomasse aérienne. La corrélation positive au seuil de 1% entre le poids grain et les autres composantes de rendement montrent que ces variables (PMG, IR, BA) expliquent le poids grain.

Tableau 4 : Relation entre les composantes de rendements

Variables	PG	PMG	IR
PMG	0,39**		
IR	0,61**	0,2	
BA	0,50**	0,31*	-0,21

*Corrélation significative au seuil de 5%, ** Corrélation significative au seuil de 1%, PG : Poids grain, PMG : Poids mille grains, IR : Indice de récolte, BA : Biomasse aérienne,

1.5. Relation entre les composantes de rendement et les variables de croissance végétative

Aucune variable de croissance végétative n'est corrélée de façon significative au poids grain (Tableau 5). Le nombre de feuilles restées vertes, l'indice de nombres de feuilles restées vertes et la hauteur sol insertion dernière feuille sont positivement corrélés au poids mille grains au seuil de 5%. L'indice de récolte est négativement corrélé au nombre de feuilles totales au seuil de 1% et au seuil de 5% à la hauteur sol panicule. Ce qui pourrait signifier que les variétés ayant un indice de récolte important, auraient un nombre de feuilles totales et une hauteur sol panicule restreint. Les variables de croissance n'interviennent pas dans l'explication du poids de grain mais par contre NFRV, INFRV ET HSIDF exercent une influence sur le poids mille grain.

Tableau 5 : Relation entre les composantes du rendement et les variables de croissance végétative

Variables	PG	PMG	IR
NFT	-0,19	-0,13	-0,47**
NFRV	0,18	0,35*	-0,11
INFRV	0,12	0,34*	-0,02
HSIDF	0,00	0,30*	-0,35
HSP	-0,10	0,15	-0,36*

*Corrélation significative au seuil de 5%, ** Corrélation significative au seuil de 1%, PG : Poids grain, PMG : Poids mille grains, IR : Indice de récolte, NFT : nombre de feuille totale, NFRV : nombre de feuilles restées vertes, INFRV : indice de nombre de feuilles restées vertes, HSIDF : hauteur sol insertion dernière feuilles, HSP : hauteur sol panicule,

1.6. Relation entre les composantes du rendement et les variables phénologiques

L'indice de récolte est fortement corrélé négativement à la durée semis-épiaison, durée semis-floraison et durée semis- maturité. Ceci veut dire quand l'indice de récolte augmente la durée semis-épiaison, durée semis-floraison et durée semis maturité se raccourcissent (Tableau 6). La durée semis floraison est positivement corrélée au poids mille grains. Le poids grain semble donc indépendant de la longueur des cycles.

Tableau 6 : relation entre les composantes de rendement et les variables phénologique

variables	PG	PMG	IR
DSE	-0,11	-0,2	-0,35**
DSF	-0,11	-0,2	-0,36**
DSM	-0,07	-0,08	-0,44**
DFM	0,13	0,32*	0,27

*Corrélation significative au seuil de 5%, ** Corrélation significative au seuil de 1%, PG : Poids grain, PMG : Poids mille grains, IR : Indice de récolte, DES : durée semis-épiaison, DSF : durée semis-floraison, DSM : durée semis-maturité, DFM : durée semis-floraison,

1.7. Relation entre les composantes de rendement et les variables physiologiques

Durant la phase végétative aucune des variables de fluorescence n'est corrélée significativement aux composantes de rendement excepté Fo qui est corrélé positivement au poids mille grains (Tableau 7). La température foliaire est négativement corrélée aux composants de rendement au seuil de 5%. Durant la phase végétative-floraison Fv/Fm a présenté une corrélation positive et significative avec le poids mille grains. Aucune des variables à la phase floraison-maturité n'est corrélée aux composantes de rendement.

Tableau 7 : Corrélation entre les composantes du rendement et les variables physiologique.

	Variables	PG	PMG	IR
Phase végétative	Fo	0,09	0,37*	-0,11
	fm	0,11	0,28	0,10
	Fv	0,09	0,23	0,11
	Fv/Fm	0,04	-0,01	0,13
	Pi	0,23	0,13	0,22
	TF	-0,278*	-0,34*	-0,32*
Phase végétative-floraison	FO	-0,01	-0,01	0,02
	Fm	-0,03	0,18	0,03
	Fv	-0,03	0,23	0,04
	Fv/Fm	-0,01	0,30*	0,13
	Pi	0,11	0,10	0,11
Phase floraison-maturité	Fo	-0,13	0,03	-0,16
	Fm	-0,10	-0,07	-0,19
	Fv	-0,17	-0,11	-0,20
	Fv/fm	0,17	-0,04	-0,03
	Pic	0,25	-0,14	-0,06

*Corrélation significative au seuil de 5%, ** Corrélation significative au seuil de 1%, Fo : fluorescence émise au début de l'illumination ; Fm : fluorescence maximale obtenue pour une intensité lumineuse donnée ; Fv : composante variable de la fluorescence ; Fv/Fm : rapport de la fluorescence variable et de la fluorescence maximale, Pi : indice de performance ; température foliaire,

1.8. Relations allométriques régissant le poids grain

Avec la régression multiple, un modèle optimal pour le poids grain (PG) a été élaboré. Les variables utilisées pour la relation de départ sont toutes celles qui ont une corrélation significative avec la variable dépendante (PG).

1.9. Rendement en grain

Suivant la régression multiple pour l'estimation du rendement en grain, 5 modèles ont été établis (Tableau 8). L'AIC des modèles du rendement en grain varie de 299,43 à 295,58 et le BIC de 311,76 à 304,39, Le meilleur modèle retenu est celui qui détient les valeurs les plus faibles d'AIC et de BIC. C'est le modèle 3 qui est le modèle optimal. Il permet d'estimer le rendement en grain avec ces variables explicatives que sont : l'indice de récolte, la biomasse aérienne et la température foliaire. Ce modèle est globalement hautement significatif (Tableau 9) et présente une valeur élevée de coefficient de détermination multiple, $R^2 = 0,9397$.

Tableau 8 : Proposition de modèle suivant les régresseurs pour le rendement en grain

	Variables indépendantes	Equations	AIC	BIC	R^2	P
Modèle1	PMG, BA, IR, TF	$-189,6+0,05PMG+182,2IR+38,97BA+4,37TF$	299,44	311,76	0,94	< 0,0001
Modèle 2	PMG, IR, BA, TF	$-184,85+0,050PMG+182,21IR+0,39BA+4,22TF$	295,58	308	0,94	< 0,0001
Modèle 3	IR, BA, TF	$-184,85+182,21IR+0,39BA+4,22TF$	295,58	304,39	0,94	< 0,0001
Modèle 4	IR, BA, TF	$-184,85+182,21IR+0,392BA+4,22TF$	295,58	304,39	0,4	< 0,0001
Modèle 5	IR, BA, TF	$-184,85+182,21IR+0,39 BA+4,22TF$	295,58	304,39	0,94	< 0,0001

PMG : Poids mille grains, IR : Indice de récolte, BA : Biomasse aérienne, TF : température foliaire, AIC critère d'information Akake, BIC : critère d'information Bayésien, R^2 : coefficient de détermination, P : Probabilité

Tableau 9 : Coefficients du modèle optimal du rendement en grain

	Coefficients	Standard	T value	Pr (> t)
(Intercepte)	-184,85241	51,43116	-3,594	<0,0001
BA	0,39283	0,02239	17,544	<0,0001
IR	182,21585	12,03742	15,137	<0,0001
TF	4,22591	1,86438	2,267	0,02903

IR : Indice de récolte, BA : Biomasse aérienne, TF : température foliaire

Tous les coefficients de ce modèle retenue sont significatifs. Il s'écrit :

$$RG = -184,85 + 182,21IR + 0,392BA + 4,22TF \quad (\text{eq 1})$$

2. Discussion

L'analyse de la variance effectuée sur les variables agro-morphologiques a montré des différences inter-variétales très significatives pour la majorité des caractères étudiés. Ceci révèle une diversité d'expression des caractères agro-morphologiques. Le contraste de comportement phénotypique attendu des variétés de la collection de travail utilisée est donc effectif. Les valeurs de la fluorescence chlorophyllienne ont montré que les variétés sont dans les conditions normales sans une contrainte hydrique à la phase floraison-maturité. Ce constat confirme les données obtenues pour l'humidité relative.

L'analyse en composantes principales suivie de classification a reparti les variétés étudiées en 4 groupes pour lesquels les caractères agro-morphologiques et physiologiques sont les critères de classification. Cette classification a permis d'opérer une sélection des variétés performantes en termes du poids de grain, du poids mille grains et de la biomasse aérienne pour cette condition de culture de décrue. Ces critères de choix se rapprochent de ceux de Barro-Kondombo (2010) qui stipule que les critères importants de la caractérisation variétale paysanne sont : le poids de grain, poids mille grain et la durée du cycle. Les variétés de la classe 4 contrairement aux autres classes présentent un poids de grain, poids mille grains et la biomasse élevés. Ces variétés sont plus performantes en terme de rendement en grain pour le remplissage des greniers et de la production du fourrage pour le bétail.

La corrélation entre les composantes du rendement montre que l'indice de récolte, poids mille grains et la biomasse aérienne sont fortement liés au poids grain, Le lien entre la biomasse aérienne et le poids grain corrobore les résultats de Bouzerzour et *al.* (1998) et Gano (2015). Bouzerzour (1998) rapporte qu'il faut assurer une production de biomasse aérienne suffisante pour garantir un rendement acceptable. L'indice de récolte, la biomasse aérienne et le poids mille grains contribueraient à l'amélioration du rendement grain.

Aucune variable de développement végétatif (NFT, INFRV, NFRV, HSP) n'est corrélée au poids grain. Ceci ne corrobore pas Ouédraogo (2014) qui a trouvé une corrélation positive et significative entre le nombre de feuilles et le rendement en grain en saison pluvieuse. Les feuilles restées vertes en fin de cycle favoriseraient le remplissage des graines, expliquant les corrélations entre le poids mille grains et certaines variables de développement végétatif (NFRV et INFRV). Ceci est d'autant plus crucial quand un stress hydrique survient après la floraison. En effet Xu et *al.* (2000) ont montré que la persistance chlorophyllienne est une composante de la tolérance à la sécheresse qui permet aux plantes de résister à la sénescence prématurée. La relation significative entre la hauteur des plants et le poids mille grains

confirme les travaux de Tovignan et *al.* (2015) sur le sorgho sucré qui ont trouvé une forte corrélation entre ces deux variables.

Les variables phénologiques n'étant pas corrélées au poids grain, montrent que le poids grain ne dépend pas de la longueur des cycles. Le lien entre la durée floraison-maturité et poids mille grains s'explique par le fait que le remplissage des grains dépend de la DFM. Plus la durée floraison-maturité est longue plus le remplissage des grains serait important.

La température foliaire est corrélée négativement de façon significative aux composantes de rendement. Cette relation est confirmée par Mackels (2009) chez le blé. La température est liée à la transpiration. Ceci a été prouvé par Cornic (2007) qui a révélé dans son étude une corrélation négative entre la température foliaire et la transpiration. Le ralentissement de la transpiration entrainerait donc une hausse de la température foliaire, mais aussi une subséquente diminution de l'activité photosynthétique.

Les corrélations simples ont permis d'identifier les variables agro-morphologiques et physiologiques (BA, PMG, IR TF) qui sont corrélées au poids grain. La totalité de ces variables ont été prises en compte pour établir la meilleure relation allométrique expliquant le rendement en grain. Avec la corrélation multiple, le modèle optimal pour estimer le rendement en grain a retenu l'indice de récolte, la biomasse aérienne et la température foliaire comme variables pertinentes. L'équation de ce modèle s'éloigne de celle obtenue par Passioura, (1977) qui explique le rendement en grain en fonction de la quantité d'eau évaporée par la plante, l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante et l'indice de récolte. Sur la base de l'équation de Passioura (1977), une réécriture a été proposée par Vadez et *al.* (2013) dans leur étude sur le mil qui s'est déroulée dans les lysimètres. En effet, ils expliquent le rendement en grain à travers l'indice de récolte, la transpiration efficace et la quantité d'eau utilisée. Le modèle global obtenu n'est toujours pas en totale conformité avec celui de Vadez et *al.* (2013). La similarité entre les deux modèles se présente dans certaines variables communes à savoir l'indice de récolte et la transpiration qui est en relation avec la température foliaire. La divergence du modèle global est liée aux conditions de cultures et les variables considérées par chaque auteur. L'expérimentation de Vadez s'est déroulée dans les lysimètres où la mesure et l'évolution de l'eau sont contrôlées. Mais avec la culture de décrue il se pose une grande difficulté pour évaluer la quantité d'eau du sol utilisée par les plantes.

L'équation du modèle se rapproche de celle de Bouzerzour et *al.* (1998) dans leur étude sur l'orge en zone semis aride, qui stipule que l'indice de récolte et la biomasse aérienne expliquent plus de 51 % de la variation du rendement en grain. Mais le modèle établi s'avère

plus pertinent que celui de Bouzerzour et *al.* (1998) car il explique plus de 94% de la variation du rendement en grain,

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

Les résultats que nous avons obtenus à partir des analyses de variance, nous ont permis d'observer une diversité agro-morphologique entre les variétés étudiées.

L'analyse en composantes principales suivie de classification a permis de classer les variétés en 4 groupes. Il a aussi permis de sélectionner les variétés les plus performantes en terme de poids de grain, poids de mille grains et de la biomasse aérienne,

Les corrélations simples entre variables d'un même groupe se sont révélées fortes et positives ; tandis que celles entre variables de groupes différentes sont restées très contrastées. Elles ont permis de relever les variables qui entretiennent une relation avec les composantes du rendement. La corrélation multiple a permis d'identifier les variables agro-morphologiques et physiologiques qui pourraient expliquer le rendement en grain. Elles sont : la biomasse aérienne, l'indice de récolte et la température foliaire. Avec ces variables le modèle d'estimation du rendement en grain est établi. L'équation de ce modèle est pertinente car elle explique plus de 94% de la variation du rendement en grain.

Cependant, il serait intéressant de valider et d'approfondir ces résultats en répétant cette expérimentation en conditions de culture de décrue. En outre l'installation d'un nombre important des tubes de diviner dans les essais permettrait de mesurer l'évolution de l'eau du sol et de la prendre en compte dans le modèle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSD, 2014. Bulletin mensuel des statistiques économiques, 105p.
- Aslam M., Khan I.A., Saleem M., Ali Z., 2006. Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. *Pak. J. Bot.*, 38(5) : 1571-1579.
- Benblidia M., Margat J., Vallée D., 1998. Pénuries d'eau prochaines en Méditerranée Futuribles, 233: 5-29.
- Ba K., Tine E., Destain J., Cissé N., Thonart P., 2008. Étude comparative des composés Phénoliques, du pouvoir antioxydant de différentes variétés de sorgho sénégalais et des enzymes amylolytiques de leur malt. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14: 131-139.
- Baker N.R., Rosenqvist E., 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany* 55:1607-1621.
- Barraut J., Ekebil J.P., Vaille J., 1972. Point des travaux de l'IRAT sur les sorghos repiqués du Nord-Cameroun. *Agronomie tropicale* 27: 791-814.
- Barro-Kondombo C.P., 2010. Diversité agro-morphologique et génétique de variétés Locales de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) au Burkina Faso. Eléments pour la valorisation des ressources génétiques locales. Thèse de doctorat, Univ de Ouagadougou, 114p.
- Berger J.D., et al., 2006. Genotype by environment studies demonstrate the critical role of phenology in adaptation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to high and low yielding environments of India. *Field Crops Res.*, **98**, 230-244.
- Bouzerzour H., 1998. Sélection pour le rendement, la précocité, la biomasse et l'indice de récolte chez l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride. Thèse de doctorat, ISN, Univ. Constantine.
- Bouzerzour H., Djekoune A., Benmhammed A., Hassous L., 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement en grain de l'orge (*H. vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cah. Agric.*, **7**, 307-317.
- Bretaudeau A., Comas J., Diago A.I., Fradin E., Gómez MacPherson H., Mathieu B., Ratnadass A., 2001. La culture du sorgho de décrue, définition et harmonisation des terminologies existantes. In: Comas J., MacPherson H.G. eds. *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional*, AEI, FAO, pp 209-218.

- Breuch Trevor., Adrian Pagan., 1979. Simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, the Econometric Society, vol. 47, 5, p. 1287-1294.
- Chanterreau J., Nicou R., 1991. *Le sorgho*. Editions Maisonneuse et Larose, Paris. 159 p.
- Chanterreau J., 2001. Connaissance et utilisation de la diversité de sorgho de décrue en Afrique de l'ouest et du centre au Cirad. In: Comas J., MacPherson H.G. eds. *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre: Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional*, AECL, FAO, pp 39-48.
- Chanterreau J., Vaksman M., Bahmani I., AG Hamada M., Chartier M., Bonhomme M., 1998. Characterisation of different temperature and photoperiod responses in African sorghum landraces. In : Ratnadass A., Chanterreau J., Gigou J., (Eds.), *Amélioration du Sorgho et de sa Culture en Afrique de l'Ouest et du Centre*, Cirad, Montpellier: p. 29-36.
- Chopart J.L., 1980. Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil sorgho, riz pluvial). Thèse INAP, Toulouse - France.
- Cissé N., 2001. La culture de sorgho au Sénégal. In: Comas J., MacPherson H.G. eds. *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre: Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional*, AECL, FAO, pp 111-121.
- Cornic G., 2007. Effet de la température sur la photosynthèse. 53p
- Craufurd P.Q., Flower D.J., Peacock J.M., 1993. Effect of heat and drought stress on sorghum (*Sorghum bicolor*). Panicle development and leaf appearance. *Exp. Agric.* 29: 61-76.
- Durbin J., Watson G.S., 1950. "Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression, I". *Biometrika* 37 (3-4): 409-428. Doi:10.1093/biomet/37.3-4.409.
- FAOSTAT, 2013. www.faostat.org consultée le 10/04/2015
- Escalona J.M., Flexas J., Medrano H., 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology* 26:421-433.
- Fernandez G.C., 1992. Residual analysis and data transformations: important tools in statistical analysis. *HortScience*, 27(4), 297-300.
- Flexas J., Medrano H., 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plant: Stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany* 89:183-189.

- Gano M., 2014. Identification d'accessions de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) contrastées pour la tolérance à la sécheresse de fin de cycle. Mémoire de Master. FST/UCAD, Sénégal, 74p.
- House L.R., 1987. Manuel pour la sélection du sorgho (2e édition) ICRISAT Patancheru, Andhra Pradesh 502324, Inde.
- Huda A.K.S., Sivakumar M.V.K., Sri Rama Y.V., Sekaran J.G., Virmani S.M., 1987. Observed and simulated response of two sorghum cultivars to different water regimes. *FieldCrops Research*. 16: 323-335.
- ISRA, 2005. Bilan de recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. 524p
- Jagtap V., Bhargava S., Streb P., Feierabend J., 1998. Comparative effect of water, heat and light stresses on photosynthetic reactions in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal of Experimental Botany* 49:1715-1721.
- Kebe M. B., 2001. Le rôle du sorgho de décrue dans la sécurité alimentaire au Sahel In: Comas J., MacPherson H.G. eds. La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre: Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional, AECI, FAO, pp 9-10.
- Le Roy X., 2005. Le sorgho de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal. Dakar: IRD, 7p.
- Lowlor D.W., 2002. Limitation to photosynthesis to water stressed leaves: stomata vs. Metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany* 89:871-885.
- Mackels C., 2009. Modélisation des pertes de rendements des cultures de blé d'hiver au Grand-Duché de Luxembourg sur base de l'étude des surfaces photosynthétiquement actives. Thèse de doctorat, département des sciences de gestion et de l'environnement, Université de Liège.
- Mathieu B., 2005. Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique : Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun. Thèse de doctorat : agronomie, Institut National Agronomique Paris-Grignon. 221p.
- Murty D.S., Tabo R., Ajayi O., 1995. Production et gestion des semences d'hybrides du Sorgho. Bulletin d'information Numéro 41, ICRISAT, A. P., Patancheru, Inde.
- Ndiaye A., 1991. La culture de sorgho de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal : quelques contributions de la recherche 30p.

- O'Neill P.M., Shanahan J.F., Schepers, 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Sci.* 46:681-687.
- Ouédraogo M., 2014. Etude de la diversité agro-morphologique du sorgho et identification de cultivars tolérants à la sécheresse. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'agriculture 97p.
- Passioura J.B., 1977 Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J Aust Inst Agric Sci*43:117-121
- Ponga, Pages, 2001. La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'ouest et du centre. In:Comas J., MacPherson H.G. eds. La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre:Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional, AECL, FAO, pp 9-10.
- Radhouane L., Aissa N., 2014. Effets d'un stress hydrique appliqué à différents stades de développement sur l'aspect quantitatif et qualitatif des semences chez un écotype autochtone de sorghograin (*Sorghum bicolor*).
- Sadras, V.O., Malory, S.P., 1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. *Field Crops Res.*, 47: 253-266.
- Sapin P. 1971 la culture de sorgho de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal. Séminaire CSTR/OUA sur les facteurs du milieu qui influent le rendement des cultures tropicales. Dakar 26-29 juillet 1971 : 1-12
- Sayed, O.H., 2003. Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal crop research. *Photosynthetica* 41:321-330.
- Shapiro S. S., Wilk M. B., 1965 « An analysis of variance test for normality (complete samples) », *Biometrika*, vol. 52, no 3-4, 1965, p. 591–611.
- Snedecor G.W., Cochran W. G., 1956. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. The Iowa State College Press, Ames.
- Tardieu F., Simoneau, 1998.Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany* 49:419-432.
- Tossim H., 2011.Caractérisation agro morphologique d'une population de Backcross interspécifique d'arachide (*Arachis hypogaea* L) pour la tolérance à la sécheresse. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'agriculture. ENSA/Thiès, Senegal, 74p.

- Tovignan, T.K., Luquet, D., Fonceka, D., Ndoeye, I., Trouche, G., Cisse, N., 2015. Assessment of the variability of Senegalese landraces for phenology and sugar yield components to broaden the genetic pool of multi-purpose sorghum. *Plant Genet. Resour.* 1–11.
- Vadez V., Kholová J., Yadav R. S., Tom Hash C., 2013. Small temporal differences in water uptake among varieties of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) are critical for grain yield under terminal drought, 16p.
- Viguié P., 1947. Les sorghos et leur culture au Soudan français. Grande Imprimerie Africaine, Dakar, 80 p.
- Winkel T., Do F., 1992. Caractères morphologiques et physiologiques de résistance du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) à la sécheresse. *Agronomie tropicale*. 46-4.
- Xu W., Subudhi P.K., Crasta O.R., Rosenow D.T., Mullet J.E., Nguyen H.T., 2000. Molecular mapping of QTLs conferring stay-green in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) 9p.
- Zongo J.D., 1991. Ressource génétique des sorghos (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) du Burkina Faso : évaluation agro morphologie et génétique. Thèse d'état, université d'Abidjan, 175.

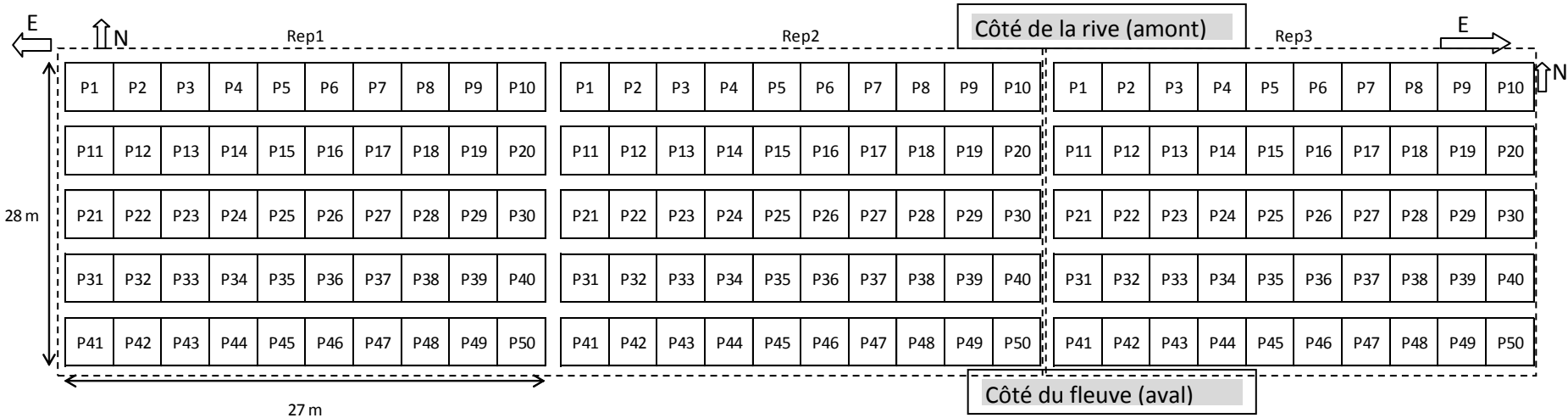
ANNEXES :

Annexe 1: Liste du matériel végétal

NOMS DES VARIETES	CODE	ORIGINE
Gadiaba Dié (IS 25916)	V1	Mali
SK 5912 (Short Kaura)	V2	Mali
Dabitinnen (Malisor 84-7)	V3	Mali
IS 24887 (fara-fara)	V4	Mali
Grinkan (02-SB-F4DT-275)	V5	Mali
SC566-14	V6	Mali
Doua-G	V7	Mali
Lata3	V8	Mali
Keninkeni (V248/08)	V9	Mali
E 36-1 (IS30469, Zera Zera)	V10	Mali
B35	V11	Mali
CE 180-33	V12	Sénégal
CE 151-262 (IRAT 204)	V13	Sénégal
NGUINTH (ISRA S-621-A)	V14	Sénégal
CE 145-66	V15	Sénégal
Faourou (ISRA-S-621-B)	V16	Sénégal
IS 10876	V17	Core collection
IS 13	V18	Core collection
IS 16101	V19	Core collection
IS 16186	V20	Core collection
IS 19455	V21	Core collection
IS 21622	V22	Core collection
IS 2262	V23	Core collection
IS 22330	V24	Core collection
IS 24009	V25	Core collection
IS 26110	V26	Core collection
IS 29310	V27	Core collection
IS 29911	V28	Core collection
IS 3073	V29	Core collection
IS 31681	V30	Core collection

IS 33116	V31	Core collection
Sariaso14	V32	Burkina Fasso
Sariaso 10	V33	Burkina Fasso
SSM 1046	V34	Core collection
SSM 19	V35	Core collection
SSM 215	V36	Core collection
SSM 1611	V37	Core collection
F2-20	V38	Sénégal
IS 4285	V39	Core collection
IS 10844	V40	Core collection
IS 6351	V41	Core collection
IS 15148	V42	Core collection
IS 29233	V43	Core collection
IS 31559	V44	Core collection
IS 16125	V45	Core collection
IS 5972	V46	Core collection
IS 15443	V47	Core collection
IS 23644	V48	Core collection
SSM 964	V49	Core collection
SSM 249	V50	Core collection
Fanaye	V51	Sénégal (Fanaye)

Annexe 2 : dispositif expérimental sur le terrain



Caractérisatiques agro-morphologiques et physiologiques d'une collection de sorgho [*sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivée en condition de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal

Résumé

Le sorgho est une importante céréale vivrière au Sénégal, mais sa productivité est très faible. Les travaux de recherche pour l'amélioration du sorgho ont abouti à des résultats très intéressants mais ont surtout concerné la culture pluviale dans les régions relativement bien arrosées. Le sorgho de décrue qui constitue un aliment de soudure pour les populations de la vallée du fleuve Sénégal, joue un rôle important dans leur sécurité alimentaire. Ainsi l'étude est d'évaluer l'adaptation des variétés de sorgho et d'identifier les caractères expliquant la productivité du sorgho en condition de décrue. Le dispositif utilisé dans cette étude est un alpha plan et le matériel végétal est une collection constitué de 51 variétés. L'analyse de variance a montré une importante variabilité agro-morphologique entre les variétés étudiées. L'analyse en composantes principales portée sur les variables agro-morphologiques et physiologiques et suivie d'une classification a identifié 4 groupes. Les variétés performantes sont celles qui ont un poids de grain, poids mille grains et une biomasse aérienne très importants. Les corrélations ont permis d'identifier les variables agro-morphologiques (poids mille grain, biomasse aérienne, l'indice de récolte) et physiologiques (température foliaire) qui sont corrélées au rendement en grain. Après une régression sur ces variables, celles qui expliquent le rendement en grain sont : la biomasse, l'indice de récolte et la température foliaire. Plus de 94% des variations du rendement en grain sont expliqués par la biomasse aérienne, l'indice de récolte et la température foliaire. Ces variables méritent une attention particulière pour les programmes de sélection visant à améliorer le rendement en grain du sorgho de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal.

Mots clés : sorgho, décrue, température foliaire, relation allométrique, vallée du fleuve Sénégal.

Auteur : Renaud DJAKPA