

# Université Assane Seck de Ziguinchor



## UFR Science et Technologie

\*\*\*\*\*

## Département d'Agroforesterie

## Mémoire de Master

**Spécialité :** Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers

**Sujet :**

**Etude de l'effet des écartements de semis chez une variété de Sorgho grain (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) CE 180-33 avec tanin pour la production de semences en Haute Casamance (Sénégal).**

Présenté par :

**Mme Aissatou KEITA**

Sous la direction de Pr Mohamed M. CHARAHABIL (Maitre de Conférences CAMES)

Encadreurs : Dr Moustapha GUEYE (Chargé de recherches CAMES, ISRA)

M. Jeannot DIATTA (Directeur UP Sem/CL, ISRA)

Soutenu publiquement le 18 décembre 2019 devant le jury composé de

<b>Président</b>	M. Daouda <b>NGOM</b>	Maitre de Conférences	FST/BV/UCAD
<b>Membres</b>	M. Ousmane <b>NDIAYE</b>	Maitre-Assistant	UFR-ST/UASZ
	M. Ismaïla <b>COLY</b>	Maitre-Assistant	UFR-ST/UASZ
	M. Moustapha <b>GUEYE</b>	Chargé de Recherches	ISRA/CRA St Louis
	M. Jeannot <b>DIATTA</b>	Chargé de Recherches	ISRA/UPSem-Bambey
	M. Mohamed Mahamoud <b>CHARAHABIL</b>	Maitre de Conférences	UFR-ST / UASZ

## **Dédicaces**

A mon père Kankou Mady Keita qu'Allah l'accueille dans son paradis.

A ma très chère mère ma référence, ma source de vie

A mes filles ma source de motivation ainsi que leur papa

A mes frères, sœurs, tantes, cousines, amis, nièces, oncles...

## Remerciements

Je rends grâce à Dieu le tout puissant et le très miséricordieux de m'avoir donné la force, le courage et la foi d'accomplir ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à l'égard de ces personnes qui m'ont beaucoup donné pour être dans les dispositions de pouvoir rédiger mon document :

Au Recteur de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ) et le Directeur de l'UFR ST de l'UASZ pour l'accueil et la formation universitaire

Pr Mohamed Mahmoud CHARAHABIL chef du département d'agroforesterie, Pr Daouda NGOM, Dr Ngor NDOUR, Dr Ismaïla COLY, Dr Antoine SAMBOU, Dr Siré DIEDHIOU, Dr Boubacar CAMARA, Dr Ali DIALLO , Dr Arfang Ousmane Kémo GOUDIABY, Dr Maurice Dasylya et Dr Abdoul Ader DIEDHIOU .

Au Directeur Général et au Directeur Scientifique de l'ISRA pour l'accueil et le déroulement du stage

Au Dr Mayecor DIOUF ancien Directeur du CRZ de Kolda pour le déroulement du stage et les appuis pédagogiques durant les travaux de terrain

Au Dr Moustapha GUEYE et Dr Jeannot DIATTA mes superviseurs à l'ISRA;

A tous les membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger ce travail malgré leurs lourdes occupations ;

Au Dr Babacar SENE spécialiste sécurité alimentaire pour son soutien

Au Commandant Pathé BALDE conservateur de la Réserve de Kalissaye pour son soutien

A tous mes collègues de l'ISRA et de l'UASZ ;

Mention spéciale à tous les membres de ma famille et aux voisins qui ont pris soin de mes filles à mon absence.

## Résumé

La culture du sorgho est essentiellement pratiquée dans le Centre-Sud, le Sud et le Sud-Est du Sénégal. Dans ces zones, les faibles rendements grain du sorgho sont expliqués par les changements climatiques et une méconnaissance des bonnes pratiques agronomiques (BPA). L'introduction de variétés améliorées de cycle court avec des BPA pourrait permettre l'amélioration de la production de sorgho grain en zones pluvieuses sans accroissement des superficies cultivées. Cette étude menée en station à Kolda vise à évaluer la croissance et le rendement en grain de la variété de sorgho CE 180-33 soumise à trois écartements de semis : T1 (80 cm x 30 cm), T2 (70 cm x 40 cm) et T3 (60 cm x 30 cm). Un dispositif en blocs aléatoires complets (RCBD) avec cinq (5) répétitions a été utilisé. L'unité expérimentale était une parcelle élémentaire de 6 m x 5 m. Les paramètres mesurés sont la hauteur des plantes, la date d'épiaison, la biomasse aérienne, le poids de la panicule, le rendement grain, le poids de 1000 grains. Les résultats obtenus ont montré que les écartements de semis 60 cm x 30 cm certes a permis d'avoir une nette augmentation des densités de plantes en comparaison à ceux de T1 et T2. Néanmoins, aucun effet significatif n'a été mis en évidence sur la hauteur de la plante ( $P=0,084$ ), la période d'épiaison ( $P=0,169$ ), le poids de la panicule ( $P=0,531$ ) et le rendement en grain ( $P=0,384$ ) selon les écartements de semis. Par contre, les écartements de semis 70cm x 40 cm (T2) ont permis d'avoir les poids de 1000 graines statistiquement plus élevées ( $P=0,048$ ) en comparaison avec ceux notés avec T1 et T3. D'une manière générale, les écartements 70 cm x 40 cm ont montré de meilleurs résultats agronomiques alors que les écartements 60 cm x 30 cm ont permis certes de produire plus de biomasse aérienne mais avec un réduction du calibre des grains. Ces résultats seront utiles dans le cadre de la production de semences de variétés de sorgho à cycle court et à port réduit en zone humide au Sénégal.

**Mot clés :** Sorgho grain, variété à cycle court et à port réduit, croissance, rendement grain, zone humide, Sénégal.

## Abstract

Sorghum is mainly grown in the South-Central, the South and the South-East of Senegal. In these areas, low grain sorghum yields are due to climate change and a lack of good agronomic practices (GAP). Introducing improved early maturing and reduced architecture varieties in association with GAP could improve sorghum production without increasing cropping areas. This on-station trial was carried out in upper Casamance (Southern Senegal) in order to evaluate the effect of three plant spacings (T1 : 80 cm x 30 cm, T2 : 70 cm x 40 cm and T3 : 60 cm x 30 cm) on the plant growth and grain yield of sorgho variety CE 180-33 (early maturing and reduced plant architecture). These three plant spacing were laid in a randomized complete block design (RCBD) with five repetitions. The experimental unit was an elementary plot of 6 m x 5 m. The measured parameters were plant height, date of heading, above-ground biomass, panicle weight, grain yield and weight of 1000 grains. The results obtained showed that the 60 cm x 30 cm sowing spacings did indeed allow a significant increase in plant densities compared to those of T1 and T2. Nevertheless, no significant effect was found on plant height ( $P=0,084$ ), heading period ( $P=0,169$ ), panicle weight ( $P=0,531$ ), and grain yield ( $P=0,384$ ) at seeding spacings. In contrast, seeding spacings of 70 cm x 40 cm (T2) resulted in statistically higher weights of 1000 seeds ( $P =0,048$ ) compared to those recorded with T1 and T3. In general, the 70 cm x 40 cm spacings have shown better agronomic results while the 60 cm x 30 cm spacings have certainly made it possible to produce more aerial biomass but with a reduction in grain size. The framework for seed production of short-cycle and reduced-grain sorghum varieties in the rainy zone of Senegal

**Key words:** grain sorghum, early maturing, reduced plant architecture, growth, grain yield, humid area, Senegal.

## Liste des figures

Figure 1 : Evolution du genre Sorghum .....	3
Figure 2: Plante de Sorgho .....	5
Figure 3: Carte de la zone d'étude .....	14
Figure 4 : Variation de la pluviométrie de Kolda (1981-2010) et 2018.....	15
Figure 5: Panicule de CE 180-33 .....	16
Figure 6: Dispositif expérimental.....	17
Figure 7: Mesures de la hauteur des plantes .....	18
Figure 8 : Variation de la densité de poquets en fonction des écartements de semis.....	21
Figure 9: Variation de la densité des plants en fonction des écartements de semis.....	22
Figure 10: Variation de la période d'épiaison en fonction des écartements de semis .....	23
Figure 11 : Effet des écartements de semis sur le poids de la panicule .....	25
Figure 12: Variation du rendement en grain en fonction des écartements de semis .....	26
Figure 13 : Effet des écartements de semis sur le poids de 1000 graines .....	26

## Liste des Tableaux

Tableau 1: Evolution de la taille des plantes de sorgho selon les écartements de semis .....	23
Tableau 2: Evolution de la biomasse fraîche et sèche des panicules et des pailles en fonction des écartements de semis.....	24

## Liste des sigles et abréviations

<b>ANOVA :</b>	Analysis Of Variance
<b>AOC:</b>	Conference of West and Central African Ministers of Agriculture
<b>BPA :</b>	Bonnes Pratiques Agronomiques
<b>CEDEAO :</b>	Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest
<b>CILSS :</b>	Comité Inter-État de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel
<b>CIRAD :</b>	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CMA :</b>	Conférence des Ministres de l'Agriculture de l'Afrique de l'Ouest et du Centre
<b>CRZ:</b>	Centre de Recherches Zootechniques
<b>FAO:</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>FAOSTAT:</b>	Food and Agriculture Organization/ Statistical
<b>IPAR :</b>	Initiative Prospective Agricole et Rurale
<b>IRAT :</b>	Institut de Recherches pour l'Agronomie Tropicale
<b>IRD :</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>ISRA :</b>	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
<b>PROTA:</b>	Plant Resources of Tropical Africa
<b>RCBD :</b>	Randomized Complete Block Design (dispositif en blocs aléatoires complets)
<b>UASZ :</b>	Université Assane Seck de Ziguinchor
<b>UEMOA :</b>	Union Economique et Monétaire Ouest Africain
<b>UFR :</b>	Unité de Formation et de Recherches
<b>USAID:</b>	United States Agency for International Development
<b>USDA:</b>	United States Department of Agriculture
<b>UP Sem-CL :</b>	Unité de Production Semencière, Céréalière et Légumineuse

## Table des matières

Dédicaces .....	i
Remerciements .....	ii
Résumé .....	iii
Abstract .....	iv
Liste des figures .....	i
Liste des Tableaux.....	ii
Liste des sigles et abréviations .....	iii
Introduction .....	1
Chapitre1 : Synthèse Bibliographique.....	3
1.1    Taxonomie et répartition du sorgho dans le monde .....	3
1.1.1    Taxonomie.....	3
1.1.2    Répartition du sorgho dans le monde.....	5
1.2    Ecologie du sorgho .....	9
1.2.1    Besoin en température .....	9
1.2.2    Besoin en eau du sorgho.....	9
1.2.3    Besoin en élément minéraux .....	10
1.2.4    Conditions pédologiques .....	10
1.3    Utilisation du sorgho .....	10
1.4    Maladies et ravageurs du sorgho .....	12
1.5    Ecartement de semis du sorgho .....	12
Chapitre 2 : Matériel et méthodes .....	14
2.1    Présentation de la zone d'étude .....	14
2.2    Matériel végétal .....	15
2.3. Facteur étudié et dispositif expérimental.....	16
2.4.    Conduite de l'essai.....	17
2.5.    Observations et mesures .....	18

2.6. Traitement et analyse de données .....	20
Chapitre 3 : Résultats et discussion.....	21
3.1. Résultats.....	21
3.1.1. Effet des écartements de semis sur la densité de poquets .....	21
3.1.2. Effet des écartements de semis sur la densité des plants.....	22
3.1.3. Effet des écartements de semis sur la taille des plantes. ....	22
3.1.4. Effet des écartements de semis sur la période d'épiaison .....	23
3.1.5. Effet des écartements de semis sur la biomasse aérienne .....	24
3.1.6. Influence des écartements de semis sur le poids de la panicule.....	25
3.1.7. Effet des écartements de semis sur le rendement en grain du sorgho .....	25
3.1.8. Effet des écartements de semis sur le poids de 1000 graines.....	26
3.2. Discussion.....	27
3.2.1. Effet des écartements de semis sur la densité et la hauteur des plantes .....	27
3.2.2. Effet des écartements de semis sur la période d'épiaison et le poids des panicules .....	27
3.2.3. Effet des écartements de semis sur la biomasse, le rendement grain et le calibre des grains .....	28
Conclusion et recommandations .....	29
Références bibliographiques .....	30

## Introduction

Le sorgho est une plante à vaste valence écologique et est présent au niveau des cinq continents (Burke *et al.*, 2018 ; Ndiaye *et al.* ; 2018). C'est une plante annuelle de la famille des poacées, originaire d'Afrique de l'Est (Ethiopie, Soudan) (De Wet *et al.* 1967), cultivée dans les zones tropicales (Bazile *et al.*, 2004). Il est la cinquième céréale mondiale, en termes de volume de production ou de superficies cultivées, après le maïs, le riz, le blé et l'orge (FAO, 1999 ; IRD, 2010 ; Koffi *et al.*, 2011 ; Chantereau *et al.*, 2013 ; Levesque, 2014 ; Macauley *et al.*, 2015 ; Temple *et al.*, 2017 ; Smith *et al.*, 2018, CIRAD ; 2019). Le sorgho est une denrée alimentaire recommandée dans les régions les plus pauvres du monde et où la sécurité alimentaire est la plus menacée (Gomez et Comas., 2001 ; Dempewolf, 2014 ; Peerzada *et al.*, 2017).

En 2018, la production mondiale est estimée à 58,9 millions de tonnes avec un rendement de 1,43 million de tonne/ha et une superficie totale de 41,3 millions d'hectare cultivée (USDA, 2019). Un peu plus de 40% de cette production est destinée à l'alimentation humaine principalement en Afrique et en Asie où il est consommé en grain entier, comme le riz, en semoule et en farine (sans gluten), ou, après transformation, sous forme de sucre, ou malté et fermenté, sous forme d'alcools (bière, spiritueux,...) (www.sorghum-id, 2018).

Le sorgho est une importante culture de l'Afrique subsaharienne, il contribue de façon significative à la sécurité et à la souveraineté alimentaire dans les régions arides et semi-arides (IRD, 2010 ; Manssour *et al.*, 2014) et où la pauvreté des sols est un facteur limitant (Koffi *et al.*, 2011). Selon USDA (2019), la production totale de sorgho du continent africain, durant la campagne 2016/2017, serait de 23,9 millions de tonnes.

Le sorgho est une céréale très faiblement consommée au Sénégal au niveau national (Ndiaye *et al.*, 2018). En 2017, la production nationale était de 143 106 tonnes dont 857 kg/ha avec une superficie de 166 975 ha (FAOSTAT, 2019). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette faible niveau de production à savoir des rendements moins élevés, attaque des ennemies de cultures (*Striga*, insectes...), des variétés productives mal connues, de mauvaises techniques culturales, des habitudes alimentaires, dégradation climatique et sécheresse plus marquées, ressources pédologiques peu fertiles et menacées (Soumana, 2001).

La culture du sorgho sous pluie est essentiellement pratiquée dans le Centre-Sud et le Sud-Est du Sénégal avec des variétés adaptés à chaque zone géographique. Cependant, l'irrégularité des pluies notée dans la partie Sud du pays rend pertinent l'introduction de la variété CE-188-33 ;

tolérante à la sécheresse, aux moisissures et au charbon. L'optimisation de la production de cette variété au sud du pays nécessite des changements dans les pratiques culturales dont l'écartement de semis. Ce facteur conditionne l'accès des plantes aux ressources naturelles : lumière au niveau des feuilles, eau et éléments minéraux au niveau des racines (Deswarte, 2011). C'est un élément primordial qui détermine la croissance, le développement et le rendement des plantes. Il varie d'une culture à l'autre ; pour une même culture, d'une variété à l'autre et au sein d'une variété, d'un emplacement à un autre (Gulluoglu *et al.*, 2017).

L'affectation de la variété de sorgho CE-188-33 au Sud du Sénégal implique une interaction dans un environnement relativement pluvieuse. Au Sénégal, parmi les actions posées en faveur de la sécurité alimentaire figurent la création et/ou l'introduction de nouveaux génotypes de sorghos adaptés à divers conditions environnementales (Ndiaye *et al.* ; 2018). Cependant la productivité des céréales est directement affectée par les changements climatiques (Dingkuhn *et al.*, 2010) entraînant une baisse de leurs rendements (ARVALIS, 2015 ; Getachew *et al.*, 2016). Or le sorgho présente toutes les qualités requises pour faire face au réchauffement climatique et participer à la sécurité alimentaire (Chukwuma *et al.* ; 2014 ; FAO ,2017).

Dans la perspective d'une valorisation de la culture du sorgho en ces temps de changements climatiques, il apparaît judicieux d'affecter les variétés précoces aux zones pluvieuses. Les performances agronomiques de ces variétés peuvent être optimisées en agissant sur l'écartement de semis. Ce qui permettrait d'accroître la production sans accroissement des superficies cultivées.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette présente étude avec comme objectif global, contribuer à l'amélioration de la production de semences de variété de sorgho à cycle court en zone pluvieuse.

Il s'agira spécifiquement de définir l'écartement optimal de semis pour une meilleure croissance des plantes, un meilleur rendement en grain et une production de semences de qualité.

Ce document est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre porte sur l'état des connaissances sur le sorgho. Le second chapitre est consacré à la présentation du matériel et des méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude. Enfin les résultats et les discussions seront traités dans le troisième chapitre.

# Chapitre1 : Synthèse Bibliographique

## 1.1 Taxonomie et répartition du sorgho dans le monde

### 1.1.1 Taxonomie

Le sorgho a d'abord été désigné sous différents noms au cours du 16ème siècle : *Millium saracenaceum*, *Millium indicum sive melica*, *Millium indicum* et *Millium aethiopicum* (Frederiksen et Odvody, 2000). Linné sera le premier à faire une description taxonomique du sorgho en 1753 sous le genre *Holcus* et décrit sept espèces. Toutefois, la systématique actuelle s'inspire des bases données par Moench (1794), qui fut le premier à définir le genre *Sorghum* et l'espèce bicolor (Barro, 2010). Le genre *Sorghum* comprend 31 espèces (Balole *et al.* , 2006), 158 variétés et 523 cultivars différents (Dehaynin, 2007).

La classification botanique nous informe qu'il existe cinq races de sorgho cultivé. Selon (De wet ,1978) il y a les races bicolor, guinea, caudatum, durra et kaffir et dix races intermédiaires qui viennent des croisements entre les différentes races. Selon un bon nombre d'auteurs les variétés de sorghos cultivés ont une origine commune. Phylogénétiquement, ce sont la canne à sucre et le maïs qui sont les plus proches parents du sorgho (Dehaynin, 2007).

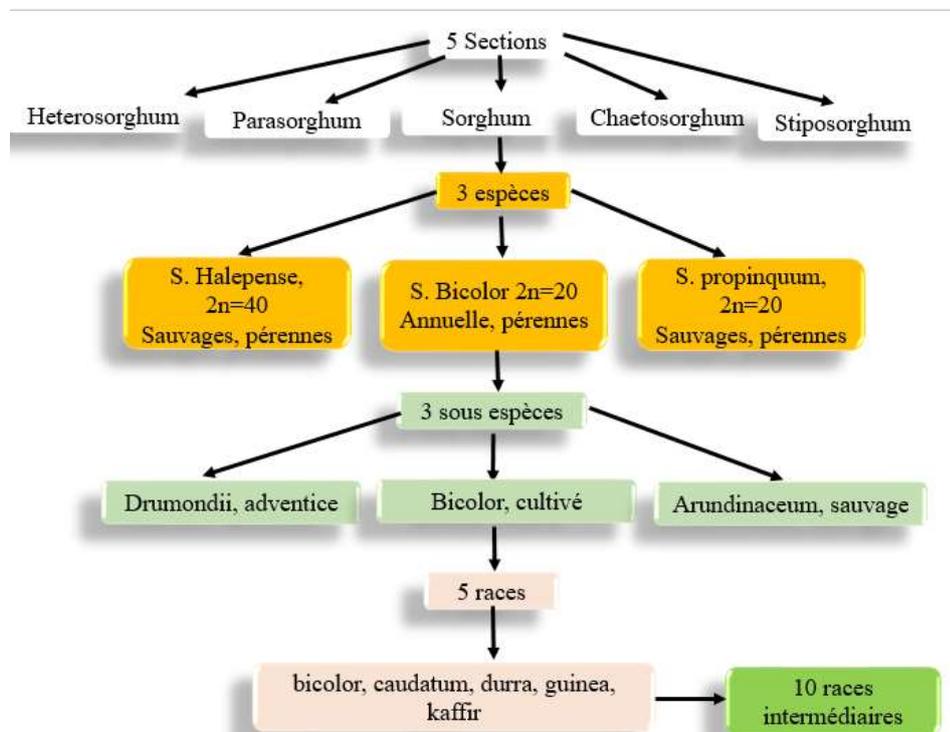


Figure 1 : Evolution du genre Sorghum

La race bicolor est considérée comme la première race de sorgho domestiquée notamment parce qu'elle présente un certain nombre de caractères peu évolués. Ainsi, les grains des sorghos de race bicolor sont petits, elliptiques et recouverts par des glumes coriaces. Leur teneur en tannins est généralement élevée. Les panicules sont le plus souvent lâches comme chez les sorghos sauvages. Leur capacité de tallage peut être élevée. Les variétés de sorghos bicolor ont souvent une tige sucrée. De plus, ceux-ci présentent des types particuliers comme les sorghos à balai, les sorghos papetiers ou les sorghos fourragers. Ils se trouvent dans toutes les aires de culture du sorgho mais généralement sur de petites surfaces (Chantereau *et al.*, 2013).

Le sorgho, est une herbacée annuelle de la famille des *Poaceae*, sous famille des *Panicoïdeae*, classe des *Liliopsida*, Sous –classe des *commolinidea*, à l'ordre des *Poales*, du genre *Sorghum* et l'espèce *Sorghum bicolor* (L.) Moench, 1794 (De Wet, 1978 ; Futuraplanete, 2018).

C'est une plante annuelle de 1 à 5m de Hauteur, diploïde avec  $2n=10$ , photosynthèse est de type C4, le nombre d'espèces varie de 20-30 et existe 171 variétés. Une tige (chaume) cylindrique pleine et habituellement érigée, avec un nombre de talles par plante élevé pour les variétés fourragères (jusqu'à une dizaine) et nul chez les hybrides sélectionnés, cultivés pour le grain. Les feuilles sont alternes, simples longues de 50cm à 3m, large de 5 à 10cm et avec une gaine de 15–35 cm de long. Les racines sont fasciculées avec une racine principale pouvant aller jusqu'à 1,5m de profondeur.

Une inflorescence en panicule, leur épillet contient 1 ou 2 fleurs enfermées dans les deux glumes de l'inflorescence. Le fruit est un caryopse (grain), habituellement ou partiellement couvert par les glumes, de 4–8 mm de diamètre, arrondi et à pointe obtuse et enfin le cycle en fonction des variétés peut varier de 75 jours pour les variétés précoces à 130 jours pour les variétés tardives (Dehaynin, 2007 ; Zolipko, 2011 ; Chantereau *et al.* ; 2013 ; Gayet, 2016).

La taille, la forme et la couleur des caryopses sont sous contrôle génique et permettent, par observation visuelle, l'appréciation de la valeur nutritive globale (plutôt meilleure pour les grains plus clairs donc) et la différenciation des races de sorgho (Dehaynin, 2007).

Il existe des variétés de sorgho très précoces, semi-précoces, précoces, semis-tardives et tardives (ARVALIS, 2015). Une diversité génétique large servant de base à différentes filières

de valorisation: à savoir sorgho-grain, sorgho sucrier, sorgho fourrager, sorgho teinturier, etc. (Alami, 2018).

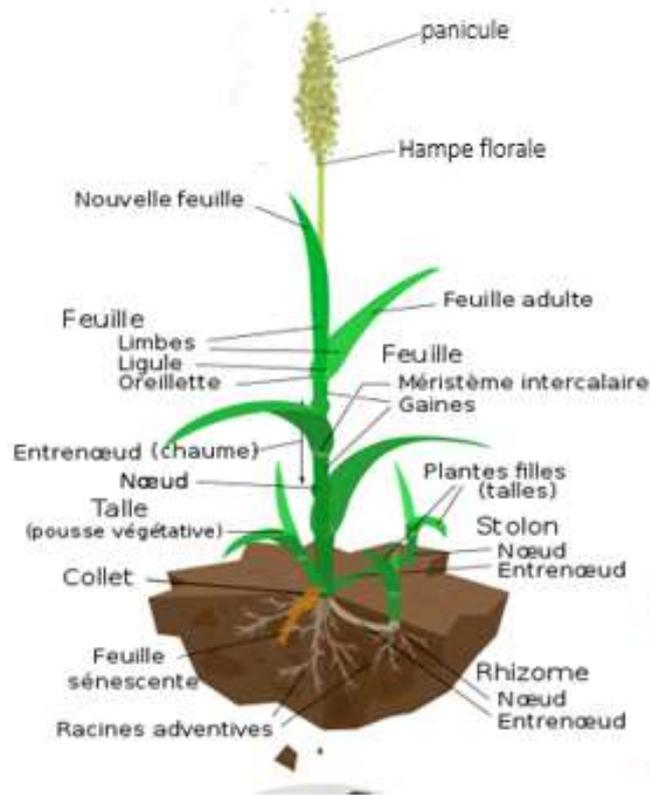


Figure 2: Plante de Sorgho

Source : [www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com) (consulté le 11/02/2019)

## 1.1.2 Répartition du sorgho dans le monde

### 1.1.2.1 Origine et domestication

Étymologiquement, le sorgho (*Sorghum bicolor*), de l'italien sorgho qui signifie « je pousse » fait partie du groupe des plantes les plus anciennement cultivées dans le monde (Gayet, 2016). C'est une céréale annuelle de la famille des poacées, cultivé dans les zones tropicales semi-arides d'Afrique et d'Asie (Koffi *et al.*, 2011).

Plusieurs controverses existent par rapport à l'origine du sorgho. Même si les avis sont partagés quant à son origine et à l'époque de sa domestication mais plusieurs d'entre eux convergent vers un point, la zone tropicale plus particulièrement le sudan. Les plus vieux restes archéologiques de cette céréale ont été trouvés à la frontière entre le Soudan et l'Égypte et ont été datés à plus de 6 000 ans avant J-C (De Wet *et al.*,1967). Selon (Mauboussin *et al.*,1977) le sorgho est originaire d'Afrique de l'Est (Ethiopie, Soudan), domestiqué environ 8 000 ans avant J-C. Loin encore dans le rapport de 2004 de CMA/AOC parle de la domestication du sorgho et de sa répartition géographique.

Le sorgho serait domestiqué il y a plus de 6000 ans avant J-C en Afrique au sud-est du Sahara, précisément à la frontière Soudan-Egypte. Il aurait ensuite gagné la péninsule arabique vers 2500 avant J.C, l'Inde vers 1800 avant J.C et la Chine qui a pu être un dernier centre de diversification avec les sorghos kaoliang qui y sont rencontrés. L'arrivée du sorgho en Europe date de l'époque romaine. Transporté en Amérique à l'époque des grandes découvertes, la culture ne s'y est véritablement diffusée qu'à partir du XIXe siècle, notamment aux Etats-Unis. Le sorgho, compte parmi les céréales les plus importantes cultivées dans le monde.

### 1.1.2.2 La culture du sorgho dans le monde

Le sorgho est une plante peu exigeante, bien adaptée aux milieux naturels des régions arides et subarides. Sa rusticité et son accommodation à divers types de sols le font pousser sur tous les continents, dans les zones tropicales et tempérées (Van Damme, 2014 ; UE, 2017). Le sorgho est une plante d'avenir avec des particularités, tel une consommation d'eau de 30 % moins que le maïs pour un rendement comparables et une meilleure résistance à la pyrale de maïs, une faible exigence en engrais grâce à son aptitude à puiser l'azote du sol via un réseau racinaire profond et très développé de plus le sorgho est une plante à C4, dépourvu de gluten, qui intègre bien l'assolement et présente une grande diversité génétique qui favorise la sélection de nouvelles variétés mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques (Hiltbrunner *et al.*, 2012 ; Getachew *et al.*, 2016 ; Peerzada *et al.*, 2017).

Le sorgho est la cinquième céréale cultivée dans le monde (CIRAD ; 2019). En 2018 la production mondiale est estimée à 58,91 millions de tonnes avec un rendement de 1,43 millions de T/ha et une superficie totale de 41,34 millions d'hectare cultivée (USDA, 2019). Les principaux pays exportateurs sont les États-Unis, l'Argentine, l'Australie et les principaux pays importateurs sont la Chine, le Japon et le Mexique (FAO ,2017).

Selon (USDA, 2019), la production totale de sorgho du continent africain, durant la campagne 2016/2017, serait de 23,9 millions de tonnes. Grâce à cette production, la part de l'Afrique est passée de 32% de la récolte mondiale à 37%. Cette performance aura été rendue possible par une augmentation des rendements qui sont passés de 1,35t/ha à 1,5 t/ha sur une campagne. Cette évolution des rendements (11,1%) est plus importante que la progression enregistrée au niveau des rendements au plan mondial (+9,1%). Alors que les superficies mondiales consacrées à la culture ont reculé de 0,11%, l'Afrique a augmenté les siennes de 1,32% et concentre actuellement plus de 57% des terres dédiées au sorgho. Le Nigéria reste toujours le premier producteur africain de sorgho avec 6,5 millions de tonnes par an, suivi du Burkina Faso (1,90 million de tonnes), du Mali et du Niger (1,30 million de tonnes).

### 1.1.2.3 La culture du Sorgho au Sénégal

Les travaux de recherche sur le sorgho au Sénégal ont existé depuis les années 1950 (Mauboussin et al ; 1977). Ceux-ci étaient entrepris par l'institut de Recherches pour l'Agronomie Tropicale et les cultures vivrières (IRAT) puis repris par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Ces travaux ont abouti à l'obtention vers les années 1980 des variétés CE151-622, CE180-33, CE145, CE196, F2-20, 93B105. En 2011, les variétés Darou, Nguinthe, Faourou et Nganda ont fait l'objet d'une vulgarisation par l'ISRA. Et enfin en Août 2015, deux autres nouvelles variétés ISRA-S-618-1 et ISRA-S-618-2 ont été homologuées (Cissé, 2015). Loin de là encore les chercheurs du CERAAS et du CIRAD se sont intéressés aux sorghos sucriers au Sénégal en 2016. Ils ont étudié une collection de 84 variétés traditionnelles de sorgho, de provenance sénégalaise pour la plupart, et 4 cultivars témoins, à Bambey, au Sénégal. Il s'agissait de déterminer les caractères et combinaisons de caractères nécessaires pour obtenir une variété de sorgho multi-usage performante, mais aussi d'identifier des géniteurs potentiels pour de futurs programmes de sélection.

L'évaluation concernait 20 caractères liés à la phénologie, à la morphologie et à la production de sucre et de grains, avec deux dates de semis, l'une précoce, en juillet, l'autre tardive, en août. Elle mettait l'accent sur la sensibilité à la photopériode des variétés, car les variétés photosensibles ont un meilleur potentiel de production de biomasse de tiges en cas de semis précoce et une production assurée de grains en cas de semis tardif, qui constituent une source potentielle de gènes pour créer des variétés multi-usage plus performantes (CIRAD.,2016) Selon le rapport scientifique de (ISRA,2018) , 10 variétés hybrides de sorgho à haut potentiel de rendement dont 5 pour la zone nord et 5 pour la zone sud, ont été développées. Ces hybrides

ont une supériorité de rendement grains de 10 à 60%, par rapport au témoin de la zone. 25 nouvelles lignées sans tanin sélectionnées pour leur rendement, la grosseur des graines et la tolérance aux moisissures sont en essai variétal avancé et des populations en ségrégation à différents stades (F1, F2, F3, F4, F5, F6, BC1F1, BC2F2 et BC3F3) ont été développées pour la longueur de la panicule, la tolérance aux insectes, aux moisissures, aux stress hydrique pré et post floral, et la qualité des graines et du fourrage. Cette connaissance va améliorer la sélection. L'objectif de ces chercheurs était de trouver des variétés à cycle courtes, plus résistantes aux attaques, qui combinaient plusieurs fonctions de productions et mieux adaptées à leur zone de culture. Le sorgho est cultivé sur l'ensemble du territoire national mais du fait de l'hétérogénéité des conditions climatiques et édaphiques, on note des spécialisations par zone agro-écologique (FIDA, 2001).

Selon Mauboussin *et al.*, 1977, le sorgho est cultivé au Sénégal dans quatre zones : en Casamance et dans le sud du Sénégal oriental (1100 à 1500 mm de pluie). Au sud du Sine-Saloum et au Sénégal oriental centre (pluviométrie : 800 à 1000 mm). Au Sénégal Centre-Nord, le sorgho est la céréale principale dans les terrains plus argileux (sol-dek) et secondaire ailleurs (bas-fonds, taches argileuses, association au mil) et sur le fleuve Sénégal. Cependant il est à signaler qu'avec la perturbation des régimes pluviométriques dus aux changements climatiques cette carte de la culture du sorgho au Sénégal peut changer. Les principales zones de production sont par ordre d'importance à l'Est du bassin arachidier, au Sud dans la région de Kolda, notamment dans le département de Vélingara et dans la Vallée du fleuve Sénégal en raison des habitudes alimentaires des ménages ruraux ([www.au-senegal.com](http://www.au-senegal.com); 2019).

Le sorgho, une céréale très faiblement consommée au Sénégal, est après le mil, la céréale pluviale cultivée (Ndiaye *et al.*, 2018). En effet, avec une consommation moyenne estimée à 0,7 kg/tête/an au niveau national pour une valeur moyenne de 2,8 kg/tête/an en zones rurales et 0,05 kg/tête/an en zones urbaines, le sorgho enregistre les plus faibles niveaux de consommation parmi les céréales étudiées. D'ailleurs, seuls 2,4% des ménages dont 9,6% en milieux ruraux et 0,2% en zones urbaines sont concernés. Sa consommation concerne principalement les ménages ruraux surtout au niveau des zones de Tambacounda (13 kg/tête/an), de Matam (5kg/tête/an), de Kédougou (3,9 kg/tête/an) et de Kaolack/Kaffrine (3,2 kg/tête/an) (IPAR, 2017). Au Sénégal en 2017 la production nationale était de 143 106 tonnes dont 857,1 kg/ha avec une superficie de 166 975 ha (FAOSTAT, 2019).

## 1.2 Ecologie du sorgho

Le sorgho est une plante à forte valence écologique ce qui lui donne la possibilité d'être cultivée en zone tropicale et en zone tempérée selon un bon nombre d'auteurs. Considéré comme une plante de région chaude, le sorgho, de par sa plasticité, est susceptible de croître aussi bien dans les régions tempérées que tropicales (Ndiaye *et al.*, 2018). C'est une plante particulièrement robuste qui résiste très bien à la chaleur et à la sécheresse (Allam *et al.*, 2018).

Contrairement à la plupart des autres céréales, la culture du sorgho nécessite peu d'irrigation et pousse sur des sols pauvres, le plus souvent assez lourds, dans des zones arides (Chantereau *et al.*, 2013 ; Levesque, 2014; Alami, 2018). Elle consomme par exemple deux fois moins d'eau que le maïs pour un rendement en grain comparable (Hiltbrunner *et al.* ; 2012 ; Peerzada *et al.*, 2017). Une bonne culture du sorgho nécessite l'existence des conditions pédoclimatiques suivantes:

### 1.2.1 Besoin en température

La physiologie rend compte de la croissance des plantes à partir des trois températures seuils : température de base ( $T_b$ ), température optimum ( $T_o$ ) et température maximum ( $T_m$ ). Pour le sorgho, elles sont, le plus souvent :  $T_b = 11\text{ °C}$  ;  $T_o = 30\text{ °C}$  ;  $T_m = 42\text{ °C}$ . Quand les températures descendent en dessous de  $11\text{ °C}$  ou dépassent  $42\text{ °C}$ , la croissance des sorghos s'arrête (Séne, 1996 ; Hiltbrunner *et al.*, 2012 ; Chantereau *et al.*, 2013). Le sorgho résiste aux températures élevées même durant les périodes de sécheresse et sa sensibilité au photopériodisme est surtout marquée chez les variétés tardives.

### 1.2.2 Besoin en eau du sorgho

Le sorgho présente une plasticité adaptative étonnante vis-à-vis des disponibilités en eau. En Afrique de l'Ouest, il est cultivé depuis des zones allant de 300 mm de pluviométrie à plus 1500mm (Chantereau *et al.*, 2013). Cependant, le sorgho est avant tout une plante économe en eau. Les besoins en eau varient en fonction de la longueur du cycle. Pour un cycle court de 90 jours 480 à 600 mm, pour un cycle moyen 110/120 jours autour de 700 mm et pour les longs cycles supérieurs à 130 jours entre 950 à 1000 mm (Chantereau et Nicou, 1991).

Bien que le sorgho soit une culture moins exigeante en eau que le maïs, sa capacité d'adaptation au stress hydrique atteint des limites en cas de sécheresse estivale marquée. La période de

sensibilité maximale au stress hydrique se situe entre le gonflement et l'épiaison (CERAAS, 1991 : Sanchez *et al.*, 2002). Le sorgho craint cependant l'excès d'eau de même une période trop pluvieuse pendant la maturation peut réduire la qualité de la production (Séne, 1996).

### 1.2.3 Besoin en élément minéraux

La satisfaction des besoins minéraux du sorgho dépend de la nature des sols de culture et de leur gestion par les agriculteurs. Le sorgho est une plante rustique pouvant s'adapter à des sols à la fertilité limitée. Dans les systèmes de cultures traditionnels tropicaux, la culture de sorgho ne reçoit pas d'engrais ou, au plus, bénéficie du reliquat de la fertilisation appliquée sur les cultures de rente qui le précèdent dans la rotation, comme le cotonnier (Chantereau *et al.*, 2013).

La rusticité du sorgho s'explique d'une part par l'importance et la profondeur de son système racinaire. Celui-ci assure une capacité d'extraction des minéraux du sol supérieur à celle d'autres plantes comme le maïs un apport de P et K au semis est conseillé (semences de provence.,2017). D'autre part, chez les sorghos photopériodiques de cycle long, la dissociation de la phase de montaison et de la phase d'initiation paniculaire implique une répartition des besoins minéraux de façon régulière et sur un temps long (Chantereau et Nicou, 1991).

### 1.2.4 Conditions pédologiques

Le sorgho pousse sur des sols argilo-sableux, un peu humifères, à pH légèrement acide et contenant de l'azote et de la potasse. Il redoute l'eau stagnante, les sols trop lourds et les sols légers. Ses besoins en altitude varient de 1100 à 1300mm. Adaptation climatique, Climat chaud, sec et ensoleillé (Chantereau *et al.*, 2013).

## 1.3 Utilisation du sorgho

Le sorgho est une plante à usages multiples du fait que toutes les parties de la plante servent. C'est une plante d'avenir, il a un fort potentiel pour répondre à une demande sociétale croissante, engouement pour les substances naturelles (chimie verte, agroalimentaire, cosmétiques, pharmacie, teinture, peinture...) (Alami, 2018). Avec le mil, ils constituent d'importantes denrées alimentaires de base dans les régions tropicales semi arides d'Asie et d'Afrique (Gnangle *et al.*, 2013). Ils restent les principales sources d'énergie, de protéines, de vitamines et de minéraux pour les habitants les plus pauvres de ces régions (Dehaynin, 2007). La plante est utilisé dans l'alimentation humaine (bouillies, couscous, galettes, bière artisanale, sirops, pain...), animale (ensilage, fourrage, aliments de volailles ...), il est également utilisé dans le domaine des énergies vertes (biogaz, ethanol-carburant, bioplastiques, biomatériaux) (

Curt et al.,1995 ;Rutto *et al.*, 2013 ; Castro *et al.*, 2015; Renzede *et al.*,2017). L'utilisation finale de la plante dépend en général du type de sorgho.

Le sorgho grain est utilisé pour l'alimentation humaine et en grande partie pour l'alimentation animale. Nouveau en Europe mais ancestral en Afrique et en Asie, le sorgho est une graine qui se cuisine comme le riz ou le quinoa. Il peut rentrer dans la composition de la bière ou autres alcool. Aujourd'hui, l'Europe découvre ses vertus gustatives et diététiques. Nutritif, il est riche en protéines, fer, vitamine B6. Energisant, riche en antioxydants, sans gluten donc sans danger pour les allergies, c'est également une source de fibres alimentaires et de potassium (www.sorghum-ID, 2018). A côtés d'eux existe des sorghos à grains riches en amidon utilisés pour préparer des colles, des adhésifs ou du dextrose (Alami, 2018);

Le sorgho papetier dont la tige riche en fibres est utilisée pour la fabrication de papier ou de panneaux de construction (Alami, 2018) ;

Le sorgho sucrier est une plante à usage multiple qui peut produire des grains tout en accumulant du sucre dans ses tiges. Les grains pour l'alimentation humaine et/ou animale, les feuilles et bagasse (tiges après extraction du jus) comme fourrage pour le bétail, pouvant être valorisés sous forme d'ensilage, jus sucré valorisable soit sous forme de sirop (ou du sucre cristallisable), soit sous forme de bio-carburants (éthanol liquide ou gélifié), soit sous forme de boisson. (Rutto *et al.*, 2013 ; Castro *et al.*, 2015 ; Da Silva *et al.* , 2017) .

Le Sorgho fourrager, plante herbacée vivace destinée pour l'alimentation animale : fauche, pâture, ensilage (Astigarraga *et al.*, 2014).

Le sorgho à balai dont la hampe fructifère (panicule) dépouillée de ses grains sert à faire des balais durs ;

Le sorgho tinctoriaux dont les tiges et feuilles riches en pigments anthocyanés donnent après broyage et macération une teinture rouge utilisée en tannerie ou en poterie (par opposition le caractère tan désigne l'absence d'anthocyanines, préférable en alimentation) (Dehaynin, 2007 ; Alami, 2018).

Au-delà de l'utilisation, le sorgho égorge d'énormes intérêts agroécologiques et services environnementaux tels que l'amélioration et la conservation des sols, limitation et remédiation des pesticides, détoxification des sols pollués (Chantereau *et al* ; 2013). A cela s'ajoute l'utilisation de son caractère allélopathique, le sorgho mature contient un certain nombre de

substances chimiques solubles dans l'eau et qui peut être utilisés comme herbicides (Cheema et Khaliq,2000).

#### **1.4 Maladies et ravageurs du sorgho**

En raison de sa diffusion mondiale et de son acclimatation à une grande diversité d'environnements, le sorgho en culture a de nombreux bioagresseurs de tous types : virus, bactéries, champignons, nématodes, insectes, plantes parasites, oiseaux (Doggett, 1988 ; Frederiksen et Odvody, 2000). Les conditions agroécologiques du développement de ces ravageurs diffèrent, si bien que, dans une région donnée, la culture du sorgho n'est heureusement confrontée qu'à une gamme limitée de ses ennemis (Chantereau *et al* ; 2013). De nombreuses maladies causées par des microorganismes variés (champignons, bactéries, virus) sont susceptibles d'attaquer le sorgho. Les phytopathologistes les ont regroupées en des ensembles pratiques aidant à leur diagnostic sur le terrain (Chantereau et Nicou, 1991) :

Les fontes de semis, les maladies foliaires, les maladies des tiges et racines, les mildious, les charbons, autres maladies des inflorescences, les moisissures des grains et les maladies à virus.

#### **1.5 Ecartement de semis du sorgho**

L'écartement de semis est l'espace entre les rangées de cultures et les cultures eux-mêmes. Le choix d'un écartement de semis doit permettre à chaque pied de plantes de bénéficier d'un environnement lui permettant de se développer le mieux possible sans rentrer en compétition avec les autres plantes du rang. La densité de semis et l'espace des rangs sont des facteurs importants pour la technique d'établissement de la culture qui affecte le peuplement et d'autres paramètres de rendement dans différentes cultures (Kuai *et al.*, 2015). Le maintien d'un écartement de plantation optimale est toujours un gros problème pour les agriculteurs.

L'écartement affecte la densité et le potentiel de rendement des cultures (Gondal *et al.*, 2017). Des écartements de semis élevé conduit à une densité de plantation faible entraînent une plus grande infestation de mauvaises herbes, une faible efficacité d'utilisation des radiations et des rendements plus faibles. Donc une réduction de la distance entre les rangées et les cultures améliore le contrôle des mauvaises herbes en augmentant la concurrence des cultures et en réduisant la transmission de la lumière au sol (Fahad *et al.*,2015). A signaler aussi qu'une population végétale dense peut causer la verse, une faible pénétration de la lumière dans le couvert, une réduction de la photosynthèse due à l'ombrage des feuilles inférieures et une

réduction importante du rendement (Pageau et Tremblay, 1996 ; Ayub *et al.*, 2003; Zand et Shakiba, 2013).

La densité est le nombre d'individus par unité de surface. C'est un élément primordial pour la réussite d'une culture de sorgho. La densité des plantes est l'un des facteurs importants qui déterminent la croissance, le développement et le rendement. Par conséquent, la densité optimale des plantes pour atteindre la productivité maximale peut varier d'une culture à l'autre, d'un génotype à un autre génotype et d'un emplacement à un autre (Gulluoglu *et al.*, 2017). Selon ARVALIS, (2015) la densité de semis dépend de plusieurs facteurs :

- La précocité à l'épiaison de la variété, conditionne fortement le nombre de graines à semer. Il est à signaler que plus une variété n'est précoce, plus son indice foliaire et son nombre de grains par panicule sont faibles. Les variétés très précoces nécessitent donc une densité de peuplement plus élevée que les variétés tardives. En conséquent il faut corriger cela lors du semis.
- La réserve hydrique, qui dépend à la fois du type de sols et de la conduite d'irrigation.
- La date de semis, en semis tardifs le nombre de grains par panicule est toujours plus faible, de ce fait la densité de semis doit être légèrement augmentée.
- Les pertes à la levée, tenir compte d'un taux de pertes de 15 à 20%.
- La répartition spatiale des plantes est aussi un facteur d'optimisation et de gestion de la compétition entre les plantes, pour les fortes densités il recommandé de resserrer les inters rangs en sorgho grain qui varie de 45 à 75 cm.

Le sorgho à grains est couramment cultivé en rangs espacés de 60 à 75 cm, mais avec le développement de nouvelles technologies de production et l'introduction de nouveaux herbicides ont ouvert une nouvelle fenêtre d'opportunité pour tester un espacement de rangée plus étroit pour la production de graine. Les résultats ont montré qu'outre la constitution génétique, l'espacement des rangs et le débit de germination contrôle le comportement de croissance du sorgho (Gondal *et al.*, 2017).

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes

### 2.1 Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée au niveau du Centre de Recherches Zootechniques (CRZ) de Kolda. L'agriculture et l'élevage sont les principales activités qui s'y font. Le climat est de type soudano-guinéen, avec des isohyètes qui varient entre 900 et 1200mm de pluies, le pH des sols varie entre 6 et 6,5 et des sols de type argilo-sablonneux (Boireau, 2014).

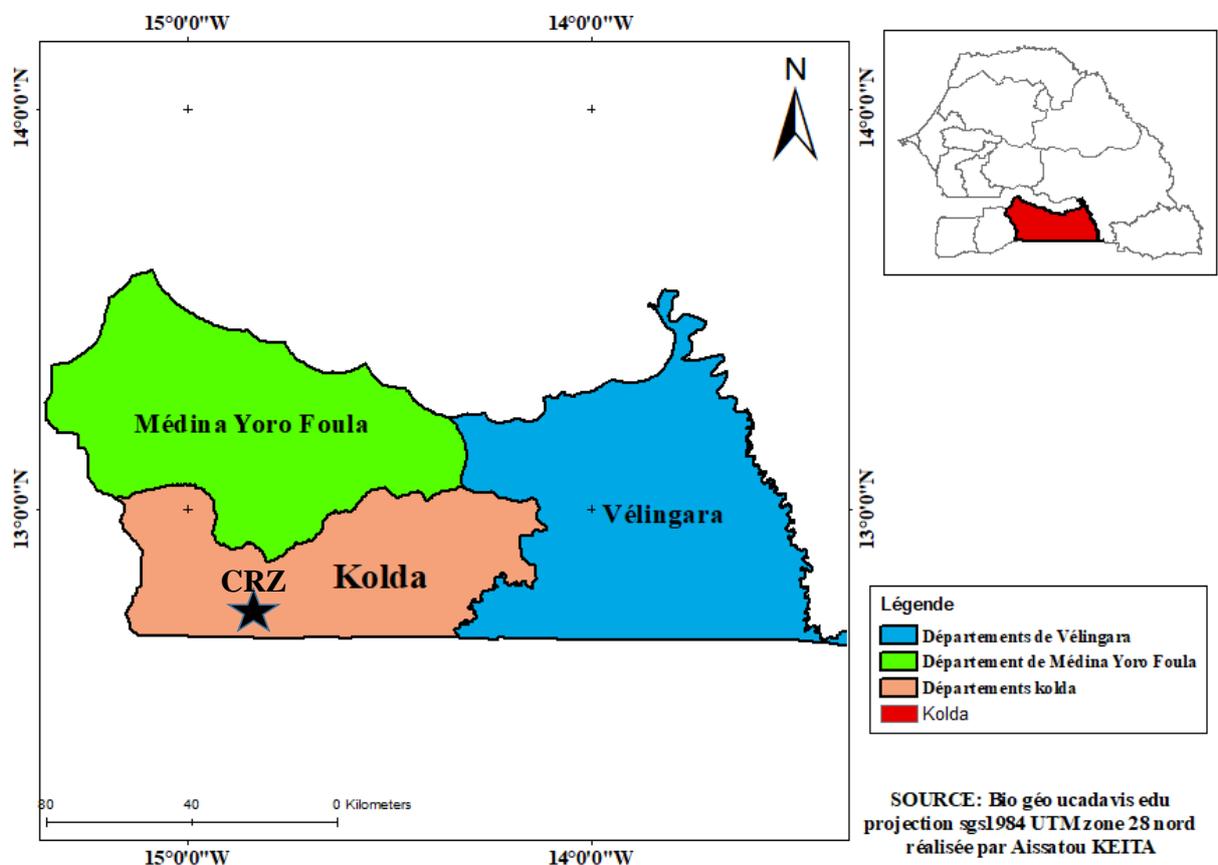
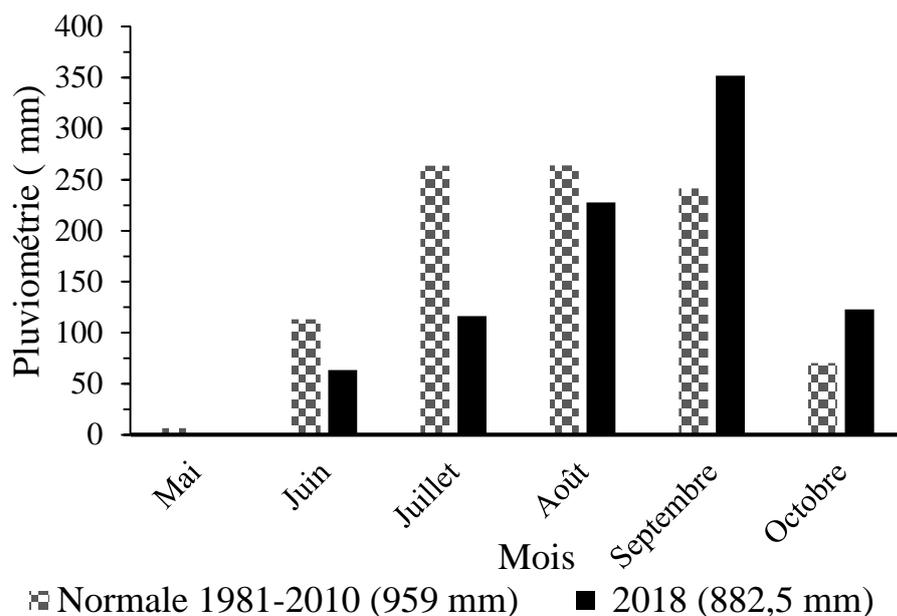


Figure 3: Carte de la zone d'étude

L'évolution de la pluviométrie dans la région de Kolda en 2018 est représentée par la figure 4. La pluviométrie est déficitaire et avec quelques périodes d'arrêt trop long. Et de plus on constate une modification dans la répartition, les mois les plus pluvieux entre 1981-2011 sont devenus les moins pluvieux. Les quantités de pluies recueillies en station sont de 882,5 mm. Les mois d'août et septembre sont les plus pluvieux (avec des cumuls respectifs de 227,7 mm et 351,1 mm).



**Figure 4 : Variation de la pluviométrie de Kolda (1981-2010) et 2018**

**Source : Station CRZ/Kolda**

## 2.2 Matériel végétal

La variété de sorgho CE 180-33 a été utilisée pour la réalisation de cette étude. Cette variété est obtenue par le croisement entre une lignée du Sénégal (74-55) et un écotype du Ghana (Naga white). Les obtenteurs de la variété sont l'ISRA et l'IRAT en 1983 à Bambey. Cette variété a un rendement potentiel de 2,8 à 5t/ha avec un cycle de maturité de 90 jours.

La variété de sorgho CE 180-33 est recommandée dans les zones dont les isohyètes sont comprises entre 400 et 700 mm de pluies et possède un certain nombre de résistance aux Striga, le charbon, la verse et la moisissure des graines (UEMOA, 2016).

La CE 180-33 est une variété de Sorgho à Tanin (pro-anthocyanidines) et présente les teneurs les plus élevées en composés phénoliques. Les tanins présentent des intérêts considérables en agronomie, ils jouent un rôle important dans les mécanismes de défense de la plante vis-à-vis des champignons et des prédateurs, comme les insectes et les oiseaux (Ba *et al.*, 2010).

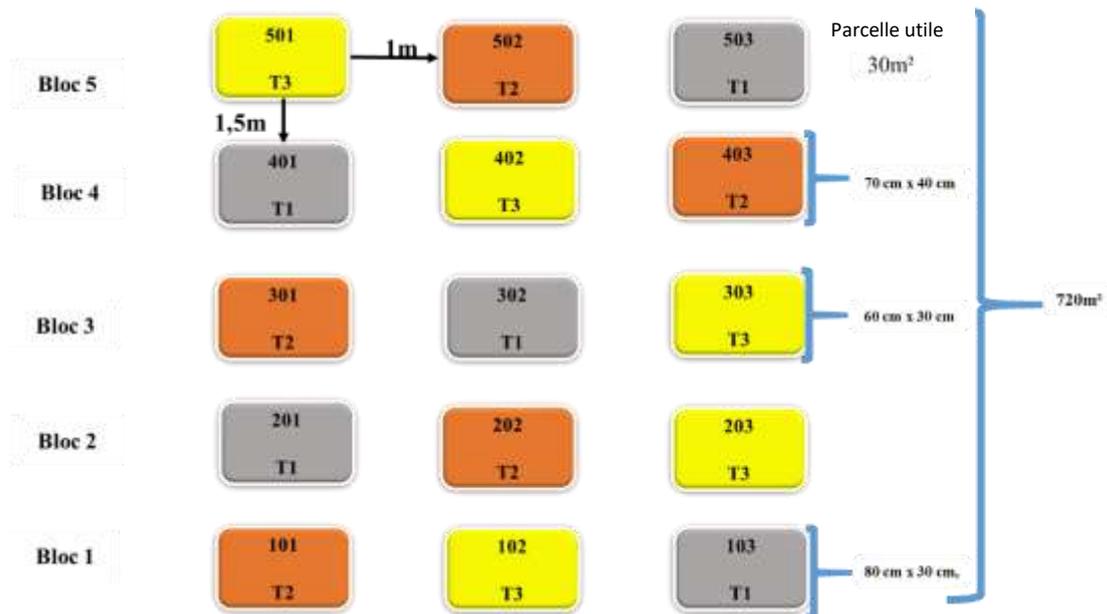


**Figure 5: Panicule de CE 180-33**

Crédit photo Aissatou KEITA (2018)

### **2.3. Facteur étudié et dispositif expérimental**

Le dispositif en blocs complets randomisés (RCBD) a été choisi pour tester l'écartement de semis de la variété de sorgho CE 180-33 en haute Casamance. Il est constitué de cinq (5) blocs contenant chacun trois (03) parcelles élémentaires (figure 6). L'unité expérimentale était une parcelle élémentaire de 6m x 5m. La distance entre blocs est de 1,5m, la distance entre parcelle 1m et les lignes de semis mesurent chacun 6m. Le facteur étudié est la densité de semis avec 3 modalités T1 (80 cm x 30 cm,), T2 (70 cm x 40 cm), T3 (60 cm x 30 cm).



**Figure 6: Dispositif expérimental**

## 2.4. Conduite de l'essai

Avant l'installation des cultures une préparation du lit de semis a été faite par un labour superficiel de 25 cm de profondeur, suivi du nivelage et du piquetage.

Le semis a ensuite été réalisé à la main en raison de 5 à 10 graines par poquet sur les 15 parcelles élémentaires pour les trois traitements à savoir T1 (80cm x 30cm), T2 (70cm x 40 cm) et T3 (60 cm x 30 cm).

Au préalable il y'a eu un test de germination sur trois (3) lots de 1000 graines au laboratoire pour évaluer le taux de germination des graines. Au bout de 72h un taux de germination de 89% est obtenu ce qui est bon en production de semences.

Quinze jours après levée un démariage a été effectué en raison de trois plants par poquets suivi d'un sarclage à l'aide d'une binette. Un deuxième sarclage a été réalisé à 30 jours après le premier sarclage.

Un apport de fertilisant (NPK (15-15-15) au 15ème jours après levée en raison de 150 kg/ha. Une application de l'urée a été aussi faite en deux apports à la montaison et à l'initiation paniculaire en raison de 50 kg/ha.

## 2.5. Observations et mesures

### Densité de plantes

La densité de plantes a été évaluée avant le démariage, après démariage et avant la récolte pour chaque traitement T1, T2 et T3. La formule suivante permet de la calculer.

$$\text{Plant/ha} = \frac{10000 \times NTP}{SU}$$

- NTP = Nombre total de poquets et NTP = Nombre Total de plants
- SU (Surface Utile) = Distance entre ligne (m) X longueur ligne de semis X nombre de ligne utile (4 lignes centrales).
- T1 (80 cm x 30 cm) = 80 poquets
- T2 (70 cm x 40 cm) = 60 poquets
- T3 (60 cm x 30 cm) = 80 poquets

### Hauteur des plantes

Quatre mesures de hauteur ont été effectuées à l'aide d'un ruban mètre. La première est prise 30 jours après levée et les trois autres chaque quinze jours. Ces mesures ont été faites sur un échantillon de 10 plants se trouvant sur les lignes utiles de chaque parcelle élémentaire pour les trois (03) écartements de semis.



**Figure 7: Mesures de la hauteur des plantes**

Crédit photo Aissatou KEITA (2018)

## Date d'épiaison

Le pourcentage d'épiaison a été calculé jusqu'à l'obtention des 50% de plantes épiées (inflorescence visible) dans chaque parcelle élémentaire. On l'évalue en fonction de l'apparition des épis. Deux cas de figure permettent de le calculer. Soit le nombre de poquets épiés par parcelle utile ou le nombre de plantes épiées par parcelle utile.

$$\% \text{ épiaison} = \frac{\text{NEP}}{\text{NTP}}$$

- NEP = Nombre d'Epis par Poquet
- NTP = Nombre Total de Poquets

## Poids de la biomasse aérienne (tiges, feuilles et panicules)

La biomasse aérienne (tiges, feuilles et panicules) par parcelle utile a été évaluée à la récolte et 21 à 30 jours après séchage. La biomasse a été pesée à l'aide d'une balance automatique le jour de la récolte pour connaître le poids frais et après séchage le poids sec. La formule suivante permet de le déterminer à l'hectare:

$$\text{Biomasse} = \frac{10000 \times PP}{SU}$$

**PP = Poids Panicule**

## Poids moyen des panicules

Pour évaluer le poids des panicules, un échantillon sur 10 panicules a été fait par parcelle utile à l'aide d'une balance électronique. Ensuite le poids total des panicules est déterminé pour chaque traitement.

## Rendement en grain du sorgho

Le rendement en grain du sorgho est calculé à partir de la formule :

$$\text{Rendement (ha)} = Np/ha \times Pg/P$$

- $Np/ha$  = Nombre de Panicules par ha
- $Pg/P$  = Poids moyen de grain d'une panicule

## Calibre des grains

Le poids des 1000 graines par parcelle utile est évalué pour tous les traitements, afin d'évaluer la qualité des semences. Un canon à graine a été utilisé pour compter le nombre de grains et une balance électronique pour déterminer le poids des 1000 graines0

## **2.6. Traitement et analyse de données**

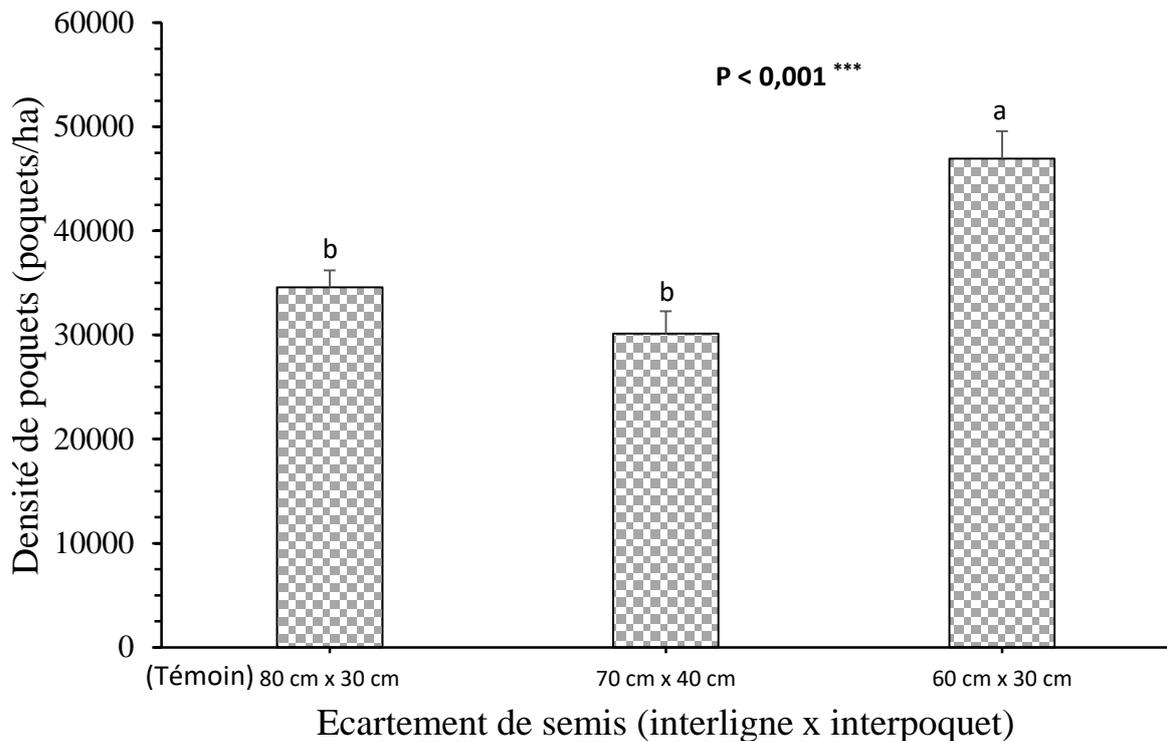
Les données collectées ont été saisies et traitées avec le tableur Excel. Une analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée pour la comparaison de moyennes obtenues par le test de Student Newman Keuls au seuil de 5%. Ces analyses statistiques ont été faites avec le logiciel Genstat Discovery Edition 4.

## Chapitre 3 : Résultats et discussion

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Effet des écartements de semis sur la densité de poquets

La figure 8 montre la variation de la densité de poquets en fonction des écartements de semis. Il ressort de cette figure que les écartements de semis ont un effet très hautement significatif ( $P < 0,001$ ) sur la densité de poquets. La densité la plus élevée ( $46\,944 \pm 2\,641$  poquets/ha) est obtenue avec les écartements de semis de 60 cm x 30 cm (T3) tandis que la plus faible ( $30\,119 \pm 2\,151$  poquets/ha) notée avec les écartements de semis 70 cm x 40 cm (T2). Les écartements 80 cm x 30 cm (T1 ou témoin de référence) et ceux 70 cm x 40 cm ont des valeurs de densités de poquets statistiquement équivalentes.



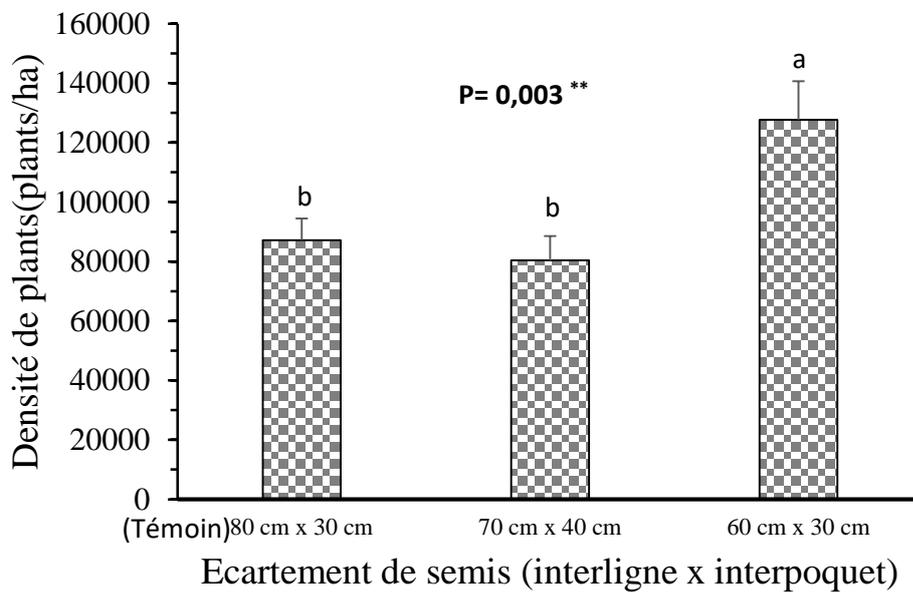
**Figure 8 : Variation de la densité de poquets en fonction des écartements de semis**

\*\*\* (différences très hautement significatives)

Les valeurs ayant les mêmes lettres sont statistiquement équivalentes selon le test de Student Newman Keuls au seuil de 5%

### 3.1.2. Effet des écartements de semis sur la densité des plants

La figure 9 montre l'influence des écartements de semis sur la densité des plantes. Les résultats montrent que les écartements de semis ont un effet significatif sur la densité des plants. En effet la densité de plantes la plus élevée ( $127\,639 \pm 12\,968$  plants/ha) est notée avec les écartements de semis 60 cm x 30 cm (T3) et le plus faible ( $80\,357 \pm 8\,200$  plants/ha) avec les écartements de semis 70 cm x 40 cm (T2). Les densités de plantes sont quasi similaires avec les écartements de semis T1 (80 cm x 30 cm) et T2 (70 cm x 40 cm).



**Figure 9: Variation de la densité des plants en fonction des écartements de semis**

\*\*\* (différences très hautement significatives)

### 3.1.3. Effet des écartements de semis sur la taille des plantes.

L'effet des écartements de semis sur la taille des plantes est indiqué dans le tableau 1. Les résultats obtenus montrent que la croissance des plantes de sorgho n'est pas affectée par les écartements de semis. En effet, les plantes ont une hauteur moyenne de  $12,2 \pm 1,3$  cm à 30 jours après levée (JAL),  $66,8 \pm 10,2$  cm à 45 JAL,  $108,8 \pm 4,4$  cm à 60 JAL et  $108,3 \pm 4,1$  cm à 75 JAL, indépendamment des écartements de semis.

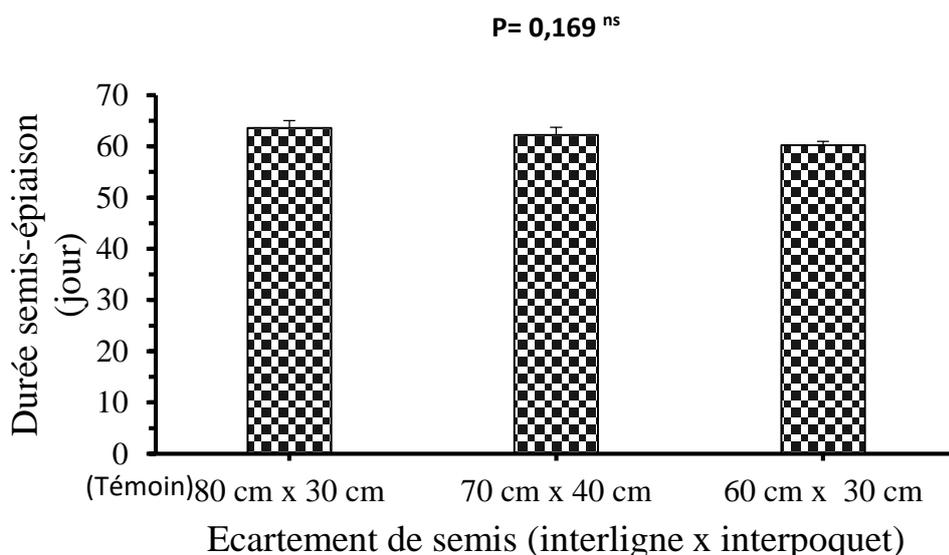
**Tableau 1: Variation de la taille des plantes de sorgho selon les écartements de semis**

	Hauteur plante (cm)			
	30 JAL	45 JAL	60 JAL	75 JAL
Ecartements de semis				
80 cm x 30 cm (T1, témoin)	9,4 ± 1,0	55,0 ± 11,0	106,2 ± 6,3	109,9 ± 5,1
70 cm x 40 cm (T2)	12,2 ± 1,6	66,4 ± 11,1	109,1 ± 6,4	107,2 ± 6,4
60 cm x 30 cm (T3)	14,3 ± 1,5	79,0 ± 1	111,1 ± 4,4	108,1 ± 2,7
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	12,2 ± 1,3	66,8 ± 10,2	108,8 ± 4,4	108,3 ± 4,1
Coefficient de variation (%)	25,0	34,1	9,0	8,5
Probabilité et signification	0,084 <sup>ns</sup>	0,306 <sup>ns</sup>	0,736 <sup>ns</sup>	0,930 <sup>ns</sup>
PPDS (5%)	--	--	--	--

JAL (jour après levée), ns (différences non significatives), PPDS (plus petite différence significative)

### 3.1.4. Effet des écartements de semis sur la période d'épiaison

La figure 10 montre l'influence des écartements de semis sur la période d'épiaison. La période d'épiaison n'est pas affectée par les écartements de semis ( $P=0,169$ ). En effet, les plantes ont atteint le stade d'épiaison à  $62,0 \pm 1,1$  jour après semis quels que soit les écartements de semis considérés.



**Figure 10: Variation de la période d'épiaison en fonction des écartements de semis**

ns (différences non significatives)

### 3.1.5. Effet des écartements de semis sur la biomasse aérienne

La variation des biomasse panicules et pailles en fonction des écartements de semis est présentée dans le tableau 2. Les résultats obtenus montrent que les écartements de semis n'influent ni sur la biomasse en panicule ni celle en paille.

La biomasse en panicule la plus élevée ( $1\,144 \pm 101$  kg/ha de panicules sèches) est notée avec les écartements de semis 60 cm x 30 cm (T3) alors que la plus faible production de panicules ( $996 \pm 235$  kg/ha panicules sèches) avec les écartements de semis 70 cm x 40 cm (T2).

Concernant la biomasse en paille, la production la plus élevée ( $3\,293 \pm 567$  kg/ha paille sèche) est noté avec l' écartements de semis 70 cm x 40 cm (T3) et la plus faible ( $2\,609 \pm 881$  kg/ha pailles sèches) avec l' écartements de semis 80cm x 30cm.

Pour ce qui est de La biomasse aérienne la portion la plus élevée ( $4336 \pm 325$  kg/ha) est notée avec l' écartement de semis de 60 cm x 30 cm (T3) et la plus faible ( $2451 \pm 432$  kg/ha) avec l' écartement de semis 70 cm x 40 cm (T2).

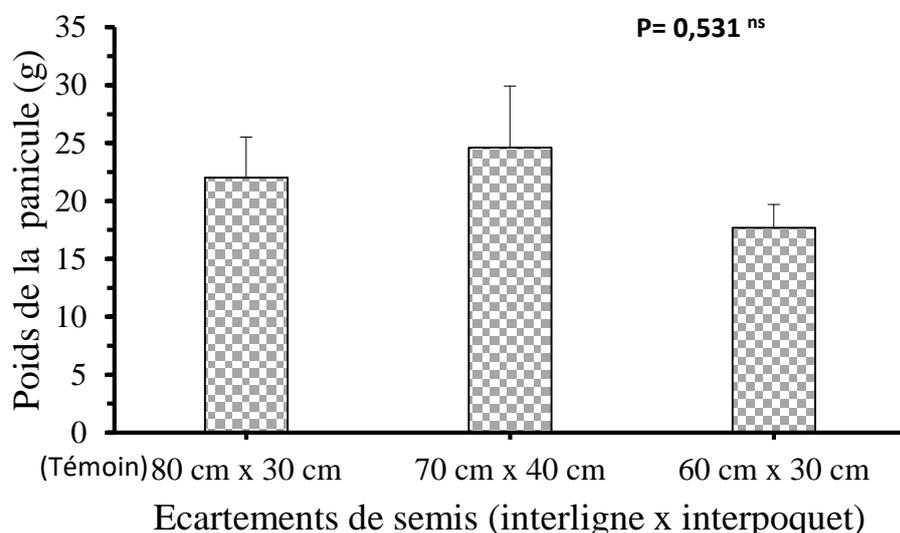
**Tableau 2: Variation de la biomasse des panicules, de la paille et de la biomasse aérienne total en fonction des écartements de semis.**

	Biomasse sèche panicules (kg/ha)	Biomasse sèche Paille (kg/ha)	Biomasse totale aérienne (kg/ha)
Ecartements de semis			
80 cm x 30 cm (T1, témoin)	$1\,047 \pm 165$	$2\,609 \pm 881$	$3\,656 \pm 986$
70 cm x 40 cm (T2)	$996 \pm 235$	$3\,293 \pm 567$	$2\,451 \pm 432$
60 cm x 30 cm (T3)	$1\,144 \pm 101$	$3\,191 \pm 339$	$4\,336 \pm 325$
Moyenne $\pm$ Ecart-type (n = 5)	$1\,063 \pm 183$	$3\,031 \pm 349$	$3\,481 \pm 709$
Coefficient de variation (%)	38,6	54,3	45,5
Probabilité et signification	0,848 <sup>ns</sup>	0,783 <sup>ns</sup>	0,224 <sup>ns</sup>
PPDS (5 %)	--	--	

ns (différences non significatives), PPDS (plus petite différence significative)

### 3.1.6. Influence des écartements de semis sur le poids de la panicule

La figure 11 montre la variation du poids de la panicule en fonction des écartements de semis. Les résultats obtenus montrent que les écartements de semis n'ont pas un effet significatif sur le poids des panicules. Néanmoins, les panicules les plus lourdes ( $24,6 \pm 5,3$  g pour une panicule) sont notées avec les écartements de semis 70 cm x 40 cm (T2) alors que les écartements 80 cm x 30 cm (T1 ou le témoin) ont permis un poids moyen panicule de  $22,0 \pm 3,5$  g soit plus de 72 % et 80 % par rapport à celui enregistré chez les écartements de semis 60 cm x 30 cm.

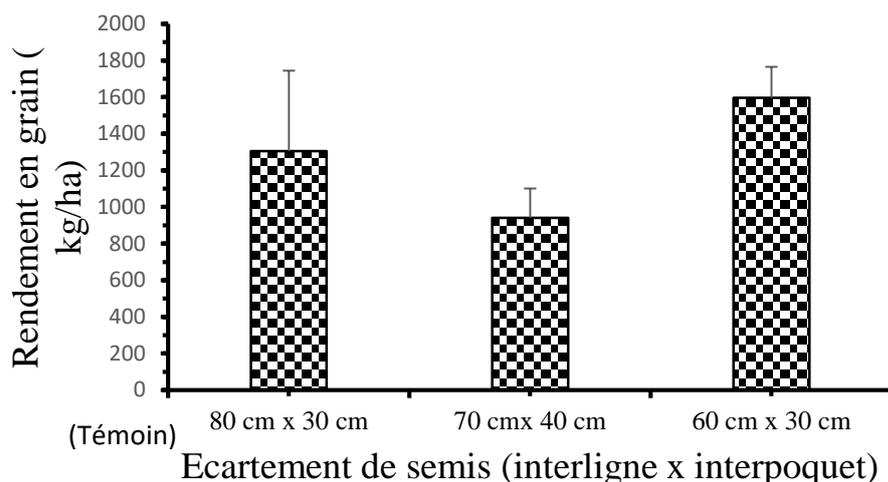


**Figure 11 : Effet des écartements de semis sur le poids de la panicule**

ns (différences non significatives)

### 3.1.7. Effet des écartements de semis sur le rendement en grain du sorgho

La variation du rendement en grain en fonction des écartements de semis est indiquée dans la figure 12. Il ressort de cette figure que les écartements de semis n'ont pas un effet significatif sur le rendement en grain du sorgho. En effet, le rendement en grain est de  $1596 \pm 169$  kg/ha avec les écartements de semis 60 cm x 30 cm (T3), de  $1304 \pm 440$  kg/ha avec les écartements 80 cm x 30 cm (T1 ou témoin) et de  $941 \pm 161$  kg/ha avec les écartements de semis 70 cm x 40 cm (T2). Malgré ces variations arithmétiques, le rendement en grain est de  $2093 \pm 618$  kg/ha indépendamment des écartements de semis considérés.



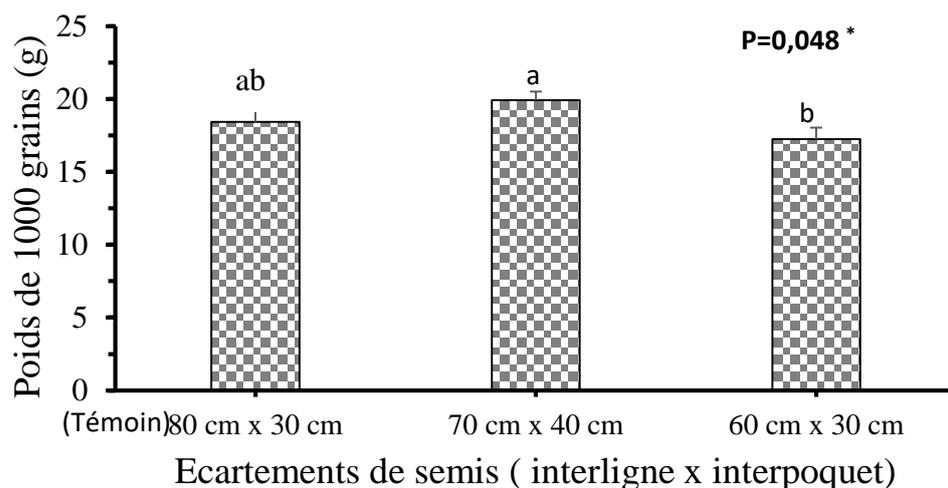
**P=0,384<sup>ns</sup>**

**Figure 12: Variation du rendement en grain en fonction des écartements de semis**

ns (différences non significatives)

### 3.1.8. Effet des écartements de semis sur le poids de 1000 graines

La figure 13 montre la variation du calibre des grains de sorgho en fonction des espacements de semis. Les écartements de semis ont significativement ( $P = 0,048$ ) affecté la grosseur des grains de sorgho. En effet, le poids de 1000 grains le plus élevé ( $20,0 \pm 0,6$  g) est noté avec les écartements de semis 70 cm x 40 cm (T3) alors que tandis que les grains les plus petits en calibre ( $17,3 \pm 0,8$  g) sont observés avec les écartements 60 cm x 30 cm (T3).



**Figure 13 : Effet des écartements de semis sur le poids de 1000 graines**

\* (différences significatives)

## 3.2. Discussion

Les résultats obtenus avec les trois modalités d'écartements de semis permettent de déduire que ces derniers ont une influence sur les paramètres de croissances et de rendement et ses composants.

### 3.2.1. Effet des écartements de semis sur la densité et la hauteur des plantes

Il existe une relation entre la densité de semis et la hauteur des plantes dans cet essai. En effet au cours de la phase végétative les plus importantes hauteurs ont été enregistrées avec le plus petit écartement de semis avec une plus grande densité de semis devant les traitements T1 et T2. Ces résultats sont en phase avec ceux de Weber *et al.*, (1965); Ayub *et al.*, (2003); Gondal *et al.*, (2017) qui stipulent que l'augmentation de la densité a considérablement augmenté la hauteur de la plante. L'augmentation de la hauteur de la plante à des densités plus élevés pourrait être due à la plus grande concurrence entre les plantes pour la lumière, les éléments nutritifs du sol et le contrôle des mauvaises herbes. A cela s'ajoute les travaux de (Bégum, 2005) selon qui une hauteur de plante plus élevée (124,8 cm) été obtenues avec 9 kg de semence /ha et une hauteur de plante inférieure (117,6 cm) avec 7 kg /ha.

### 3.2.2. Effet des écartements de semis sur la période d'épiaison et le poids des panicules

Le traitement T3 avec le plus petit écartement de semis 60 cm x 30 cm a atteint la date des 50% d'épiaison au 60 ème jour après semis avant les écartements de semis T1 et T2. Ces résultats corroborent ceux de (Zand et Shakiba, 2013) qui affirment que lorsque l'écartement de semis est réduit, le diamètre ainsi que la date des 50% de floraison diminuent. Les plantes semées à des écartements réduits entraînent une concurrence accrue et une floraison précoce. A cela s'ajoute les résultats de Geleta *et al.*, (2002) qui stipulent que les écartements élevés affectent le nombre de jours avant la floraison car cause une floraison plus tardive de 2 jours. Les meilleures panicules ont été obtenues avec le traitement T2 (70 cmx 40 cm) ayant la plus grande distance entre les cultures donc le nombre de plante le moins élevé. Ce résultat est en phase avec ceux de Hayat *et al.* , (2018) qui stipulent que lorsque le nombre de plantes est élevé, le nombre total de panicule augmente mais une tendance inverse est observée pour le poids des panicules.

### 3.2.3. Effet des écartements de semis sur la biomasse, le rendement grain et le calibre des grains

La biomasse la plus importante dans cet essai est obtenue avec le plus petit écartement de semis T3 suivi de T1 et T2. Ces résultats corroborent avec les travaux de May *et al.*, (2015) qui affirment que la biomasse totale est fortement réduite lorsque les espacements entre les lignes de semis sont élargis car il y'a une faible interception des rayonnements solaires. Il en est de même pour le rendement en grain. Le rendement le plus important est enregistré avec T3 (60cm x 30 cm) l'écartement de semis le plus petit. Ces résultats sont en phase avec ceux de plusieurs auteurs. Gondal *et al.*, (2017) ; Chattha *et al.*, (2017) qui affirment que le taux de semis du sorgho avec un espacement de 30 cm est considéré comme l'optimum pour un rendement en grain plus élevé et de plus l'augmentation du rendement est principalement due à la densité et à la hauteur des plantes. Fromme *et al.*, (2012) affirment que des plants de maïs cultivés avec des rangées espacées de 50 cm) ont produit de meilleurs rendements que les rangs espacés de 100 cm. A cela s'ajoute les travaux Gulluoglu *et al.*, (2017) selon qui le soja semé a un écartement de 70cm x 4cm et 70 cm x 10 cm ont donné respectivement des rendements de 5821 kg/ha et 3805 kg/ha. Cela est appuyé par Zand et Shakiba, (2013) ; Fahad *et al.*, (2015) qui stipulent que les écartements de semis élevée entraînent une forte infestation de mauvaises herbes, une faible efficacité d'utilisation des radiations et un faible rendement.

Le poids de 1000 grains est influencé par le type de traitement ( $P < 0,048$ ). Le meilleur calibre des grains est obtenu avec les traitements T2 (70 cm X 40 cm) et T3 (80 cm X 30 cm) ayant les écartements les plus élevée que T3 (60cm x 30cm). Ce résultat corrobore avec ceux de De Bruin et Pederson, (2008; Hayat *et al.*, (2018) qui stipulent que les écartements de semis affectent le poids de 1000g , montrant de manière significative une tendance à la réduction du poids de 1000 grains lorsque celui-ci diminue . Le paramètre d'augmentation du poids de 1000 grains s'est reflété dans le rendement en grain, une augmentation confirmant son facteur contributif pour le rendement en grain. Cette masse de graines a diminué avec l'augmentation des taux de semis. A cela s'ajoute les travaux de Hayat *et al.*,(2018) qui affirment que l'écartement de semis a un effet significatif sur le poids de 1000g car maïs semé a un écartement de 45 cm a donné un poids de 1000g égale à 356 g tandis que l'écartement de semis 30cm a donné 344 g.

## **Conclusion et recommandations**

L'influence des écartements de semis sur les paramètres de croissance et les paramètres du rendement et ses composantes a été évaluée dans ce travail afin d'accompagner la production de semences de variété de sorgho à cycle court et à port réduit dans les régions pluvieuses au Sénégal.

Les résultats obtenus ont montré que les écartements de semis 60 cm x 30 cm (T3) permettent l'augmentation des densités de plantes et ont comme inconvénient la production de grain de sorgho de faible calibre. Cependant, la hauteur, la période d'épiaison et le rendement en grain ne sont pas affectés par les écartements de semis.

Par contre, le poids moyen paniculaire et le poids de 1000 grains ont été affectés par l'augmentation des densités de plantes. Cette relation entre rendement en grain et ses composantes est à prendre en compte dans le cadre de la production de semences.

En conclusion, la variété de sorgho CE 180-33 a montré ses meilleures potentialités avec les écartements 70 cm x 40 cm en comparaison aux écartements 80 cm x 30 et 60 cm x 30 cm. Les plus grosses panicules et les meilleurs calibres de grain ont été enregistrés avec les écartements 70 cm x 40 cm.

La poursuite de ce travail sur les écartements de semis du sorgho dans d'autres zones agro climatiques est recommandée avant une large diffusion des variétés améliorées de sorgho en milieu paysanne ou dans le cadre de la production de semences de sorgho en zones pluvieuses.

Il serait aussi important d'associer la date de semis et les écartements de semis pour mieux appréhender la culture de la variété CE 180-33 en zone pluvieuse.

## Références bibliographiques

- Alami S., 2018.** Sorgho, le géant des plantes utiles : Exploration du potentiel bioéconomique du sorgho, un gisement d'innovations porteur de valeur économique et environnementale. Rapport, 54 pages.
- Allam A., Tirichine A., Madani H., Benlamoudi W., 2018.** Variabilité morphologique du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), cultivé dans la vallée d'Oued Righ (Sud-Est Algérien). *Journal Scientifique Libanais* 19(1): 10-18.
- Andrade F.H., Calvino P., Cirilo A., and Baebieri P., 2002.** Yield responses to narrow row depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94 (10), 113-118.
- Arvalis ., 2015 .** Choisir Sorgho. Rapport sur le Sorgho variétés et interventions. 88pages.
- Astigarraga L., Bianco A., Mello R., Montedónico D., 2014.** Comparison of Brown Midrib Sorghum with Conventional Sorghum Forage for Grazing Dairy Cows. *American Journal of Plant Sciences* 5:955-962.
- Ayub M., Tanveer A., Nadeer M.A., Tayyab M., 2003.** Fodder yield and quality of sorghum as influenced by different tillage method and seed rates. *Pakistan Journal of Agronomy*, 2(3):179-184.
- Ba Khady. Tine. E., Cissé N., Thonart P., 2010.** Étude comparative des composés phénoliques, du pouvoir antioxydant de différentes variétés de sorgho sénégalais et des enzymes amylolytiques de leur malt. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(1):131-139.
- Balole, T. V.; Legwaila, G. M. 2006.** Sorghum bicolor (L.) Moench record from Protabase. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa, Wageningen, Netherlands.
- Barro K. 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, Université de Ouagadougou, 114 p.
- Bazile D., Soumare M., 2004.** Gestion spatiale de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique: le cas du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench 1974.) *Cahier Agricultures* 14:440-487.

- Begum F., Rahman M. M., Islam N., 2005.** Effect of seed rate and row spacing on the yield and yield components of mustard. *Department of Agronomy*, 29pages.
- Burke J.J., Emendack Y., Hayes C., Chen J., 2018.** Genetic Diversity in the Environmental Conditioning of Two Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Hybrids. *American Journal of Plant Sciences* 9 :817-831.
- Castro F.M.R., Bruzi A.T., Nunes J.A.R., Parrella R.A.C., Lombardi G.M.R., Albuquerque C.J.B., Lopes M., 2015.** Agronomic and Energetic Potential of Biomass Sorghum Genotypes. *American Journal of Plant Sciences* 6 :1862-1873.
- CERAAS, 1991.** Comportement de 6 genotypes de sorgho en condition de stress hydrique post-floral , rapport,9 pages.
- Chantereau J., Cruz J .F., Ratnadass A., Trouche G., 2013.** Agricultures tropicales en poche: Le sorgho. Ed. Quae, CTA, Versailles ,267 pages.
- Chantereau J., Nicou R., 1991.** Technicien d'Agriculture Tropicale. Le sorgho. Maisonneuve et Larose Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, France, 159 p.
- Chantereau P., Cruz J-F., Ratnadass A., 2013.** Le sorgho. *Afrika focus* 27(1) : 112-114.
- Chattha M.U., Iqbal A., Hassan M.U., Bilal M., Ishaque W., Usman M., Khan S., Fayyaz M.T., Ullah M.A., 2017.** Forage Yield and Quality of Sweet Sorghum as Influenced by Sowing Methods and Harvesting Times. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13, 301-306.
- Cheema Z.A., Khaliq A., 2000.** Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi-arid region of Punjab. *Agriculture, Ecosystems et Environment* 79(3):105-112.
- Chukwuma C. O., P. Stepien., Johnsona G.N., 2014.** Sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties adopt strongly contrasting strategies in response to drought. *Environmental Sciences*, 50-357.
- CIRAD ,2019.** Innovation et Amélioration Variétale en Afrique de l’Ouest: Mettre en œuvre des programmes d’amélioration variétale innovants pour répondre à la complexité des systèmes agro-écologiques rencontrés en Afrique de l’Ouest. 2 PAGES.

- CIRAD., 2016.** Sénégal : des sorghos sucrés traditionnels pour créer des variétés à usage multiple. <https://www.cirad.fr/nos-recherches> (consulté le 11/08/2018)
- Cissé., N., 2015.** Fiches variétales Sorgho et Niébé. ISRA CEERAS - FICHES TECHNIQUES, Vol N4, 15pages.
- CMA/WCA., 2004.** Note technique sur la filière mil/sorgho dans la zone, rapport,15 pages.
- Cox, W.J. ,1996.** Whole plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agronomy Journal* 88 : 489-496.
- Curt M.D; Fernadez J; Martinez M., 1995.**Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. “Keller” in relation to water regime. *Biomass and Bioenergy* 8(6) : 401-409.
- Da Silva T.M., Lopes M.F.K, Oliveira A.B., Da Silva A.L., Nogueira P., Viana I.M.T ., Lessa B.F.T., 2017.** Physiological quality of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] seeds in response to planting density in semi-arid region. *Australian Journal of Crop Science* 11(06):694-700.
- De Bruin, J.L., Pederson, P., 2008.** Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agronomy Journal* 100 : 204-210.
- De wet J. M. J., HuckabayJ. P., 1967.**The origine of *Sorghum bicolor*: Distribution and Domestication. *National Science Foundation* 21 : 787-802.
- De Wet J. M. J.,1978.** Systematics and Evolution of *Sorghum* Sect. *Sorghum* (Gramineae). *American Journal of Botany* 65 (4) : 477-484.
- Dehaynin N., 2007.** Utilisation du sorgho en alimentation animale. Thèse, école nationale vétérinaire de Lyon, 109 pages.
- Dembele S. M., 2003.** Comparaison de la productivite du maïs et du sorgho dans les mêmesconditions de cultures (cercle de sikasso, terroir de siramana).Mémoire de fin d'études, l'Institut de Formation et de Recherches Appliquées IPR/IFRA.46 pages .
- Dempewolf A., Eastwood R. J. , Guarino L., KhouryC. K.,Müller J.V., Toll J., 2014.** Adapting Agriculture to Climate Change: A Global Initiative to Collect, Conserve, and Use Crop Wild Relatives. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38:4, 369-377.

- Deswarte J.C., Gouache D., ARVALIS., 2011.** Semis de blé tendre. Des pertes de rendements avec des inter-rangs larges. *Perspectives Agricoles* N°376 ,4pages.
- Doggett H., 1988.** Sorghum. 2nd Edition. Longman Scientific and Technical, Essex, UK.
- Fahad S., Hussain S, Chauhan B.S., Saud S., Wu C., Hassan S., Tanveer M., Jan A., Huang J., 2015.** Weed growth and crop yield loss in wheat as influenced by row spacing and weed emergence times. *Crop Protection* 71: 101-108.
- FAO ., 2017.** Sécurité alimentaire et nutrition à l’heure des changements climatiques. Rapport, 135 pages.
- FAO., 1999. SORGHUM:** Post-harvest Operations. 33 pages.
- FAO., 2017.** La situation mondiale de l’alimentation et de l’agriculture : mettre les systèmes alimentaires au service d’une transformation rurale inclusive. Rapport, 201 pages.
- FAOSTAT., 2019.** Production de Sorgho <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>
- FIDA., 2001.** Rapport d’étude sur la production, transformation, Consommation et Contractualisation dans les principales zones de culture du mil et du sorgho au Sénégal, 130 pages.
- Frederiksen R. A., Odvody. G. N., 2000.** Crop diseases: Compendium of Sorghum Diseases. *American Phytopathological Press* 105 (2) : 255-256.
- Fromme D.D., Fernandez C. J., Grichar W. J., Jahn R. L., 2012.** Grain Sorghum Response to Hybrid, Row Spacing, and Plant Populations along the Upper Texas Gulf Coast. *International Journal of Agronomy*, 5 pages.
- Futuraplanete.,2018.** Le Sorgho Sous tout ses Formes .[www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-cereale-millet-sorgho-mil](http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-cereale-millet-sorgho-mil),11pages.
- Gayet M., 2016.** Botanique, cuisine, recette par ingrédient et recette thématique. In : Le grand traité des céréales. Le bureau , paris , 344pages.
- Geleta B., Atak M., Baenziger P. S., Nelson L. A., Baltenesperger D. D., Eskridge, K. M., Shelton D. R., 2002.** Seeding rate and genotype effect on agronomic performance and end-use quality of winter wheat. *Crop Science* 42(3) : 827-832.
- Getachew G., Putnam D.H., De Ben C.M. and De Peters E.J. ,2016 .**Potential of Sorghum as an Alternative to Corn Forage. *American Journal of Plant Sciences*, 7 : 1106-1121.

- Gnangle C.P., Gbemavo C., Aïhou K., Kakaï R.G., Sokpon N., 2013.** Productivity of cotton and sorghum in an agroforestry system of shea trees (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) in northern Benin. *Natural Science* 5(2) : 207-213.
- Gomez J., Comas H., 2001.** La culture du sorgho de décrue en Afrique de l’Ouest et du Centre. Situation actuelle et définition d’un Plan d’Action Régional. MacPherson ISBN 84-7232-898-8, 247 pages.
- Gondal M.R., Hussain A., Yasin S., Musa M., Rehman H.S., 2017.** Effect of seed rate and row spacing on Grain yield of sorghum. *Fodder Research Institute, Sargodha, Pakistan*. 15(2): 81-91.
- Gulluoglu L., Bakal H., Sabagh EL.A., Arioglu .H., 2017.** Soybean managing for maximize production: plant population density effects on seed yield and some agronomical traits in main cropped soybean production. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 5 (1) : 031-037.
- Habyarimana E., Bonardi P., Laureti D., Di Bari V., Cosentino S., Lorenzoni C., 2004.** Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stand densities and variable water supply in Italy. *Indian Crops Production* 20 : 3-9.
- Hayat S., Nabi G., Gondal M.R., Hussain S.R., Yasin S., Hussain A., Abbas S.R., 2018.** Effect of seed rate and row spacing on grain yield of maize (*Zea mays* L.) cultivar ‘Sargodha 2002. *International Journal of Biosciences* 12(1) : 323-329.
- Hegde B. R., Major D. J., Wilson D. B., Krogmank. K., 1976.** Effects of row spacing and population density on grain sorghum production in southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 56: 31-37.
- Hiltbrunner J., Buchmann U., Vogelgsang S., G., Andreas., Ramseier., 2012.** Le sorgho : une grande culture intéressante encore inconnue en Suisse. *Recherche Agronomique Suisse* 11(12): 524–531.
- IPAR/ USAID., 2017.** FEED THE FUTURE SENEGAL NAATAL MBAY : Étude de la consommation des céréales de Base au Sénégal, rapport, 128 pages.
- IRD., 2010.** Le Sorgho: Quand agriculture rime avec biodiversité, 2 pages.
- ISRA., 2005.** Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. Rapport, 524 pages.

- ISRA., 2018.** Synthèse des Principaux résultats de Recherche Obtenus en 2016 -2017. Rapport, 28 pages.
- Koffi K.G. C., Akanvou L., Akanvou René ., Zoro B. I. A., Kouakou C.K., N'da H. A ., 2011.** Diversité morphologique du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivé au nord de la côte d'ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol* 17:125 – 142.
- Kuai J., Sun Y., Zuo Q., Huang Y., Liao Q, Wu C., Lu J., Wu J ., Zhou1 G., 2015.** The yield of mechanically harvested rapeseed (*Brassica napus* L.) can be increased by optimum plant density and row spacing. *Scientific Reports*, 14 pages.
- Levesque A., 2014.** Le sorgho sucré, une plantes aux multiples valorisations, sources d'innovation en Haïti. Mémoire de fin d'étude, institut des régions chaudes, 144pages.
- M Dingkuhn., T Lafarge., 2010.** L'adaptation du sorgho et du riz au changement climatique : Stratégies et Opportunités Contrastées. Rapport du CIRAD ,22pages.
- Macauley H., 2014.** Les cultures céréalières: riz, maïs, millet, sorgho et blé. Rapport, 38 pages.
- Manssour A. M., Zoubeirou A. M., Noma D .L., Djibo E.S., Ambouta. J.M., 2014.** Productivité de la culture du sorgho dans un système agroforestier a base d'*Acacia senegal* (L) Willd au Niger. *Journal of Applied Biosciences* 82:7339 – 7346 .
- Mauboussin J.C ., N'diaye M., 1977.** Amélioration du Sorgho. *Agronomie Tropicale* 304-308.
- May A., De Souza V.F., Gravina G.A., Fernandes P.G., 2015.** Plant population and row spacing on biomass sorghum yield performance. *Crop production* 46 (3):1678-4596.
- NDIAYE M., ADAM M., MULLER B., GUISSSE A ., Cisse N., 2018.** Performances agronomiques et stabilité phénotypique de génotypes de Sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) au Sénégal : Une Etude des Interactions Génotypes-environnement. *Journal of Applied Biosciences* 125: 12617-12629.
- Pageau D. , Tremblay G., 1996.** Effet de la dose de semis et de l'écartement entre les rangs sur l'interférence entre le *Chenopodium album* et le *Triticum aestivum*. *Phytoprotection* 77 (3) : 119–128.
- Peerzada A.M., Haider H., Bhagirath A., Chauhana S., 2017.** Weed management in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using crop competition. *Crop Protection* 95 : 74-80.

- Rezende R.K.S., Masetto T.E., Oba G.C., Jesus M.V., 2017.** Germination of Sweet Sorghum Seeds in Different Water Potentials. *Plant Sciences* 8 :3062-3072.
- Rutto L.K., Xu Y., Brandt M., Ren M., Kering M.K., 2013.** Juice, Ethanol, and Grain Yield Potential of Five Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Cultivars. *Sustainable Bioenergy Systems*. 3, PP .113-118 .
- Sanchez A.C., Subudhi P.K., Rosenow H.T., Nguyen D.T., 2002.** Mapping QTLs associated with drought resistance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Plant Molecular Biology* 48 (6) : 713–726
- Semences de provinces., 2017.** Sorgho grain technique de fertilisation. <https://www.semencesdeprovence.com> (consulté le 05 Septembre 2019)
- Sène. L ., 1996 .** Réponses de la variété de sorgho CE 145-66 a l'alimentation en eau : Effet du stress hydrique sur le rendement et la qualité des semences . Mémoire ,Ecole Nationale des Cadres Ruraux de Bambey Centre National de Recherches agronomiques de Bambey ( Sénégal).66 pages.
- Smith .,O., Nicholson W .V., Logan K., Emma M., Alan C... Pamela R., Stevens Chris., Robin G. A., 2019.** A domestication history of dynamic adaptation and genomic deterioration. in sorghum. *Nature plants* 5: 369–379
- Smith C. W ., Fraderiksen R. A., 2000.** Sorghum : Origin, History, Technology and production .Wiley series in crop sciences , Canada, 811 pages
- Sorghum-ID, 2018.** Nouveau débouchés alimentaire. Le sorgho, c'est sûr. <https://www.sorghum-id.com> (consulté le 05 septembre 2018).
- Soumana I ., 2001.** Initiative pour le développement des mils et sorghos en Afrique de l'Ouest et du Centre Un pilotage par l'aval: Bilan-diagnostic sur la production du mil et du sorgho . 170pages.
- Temple L., Levesque A., Lamour A., Charles D., Braconnier S., 2017.** Complémentarité des filières sorgho sucré et canne à sucre en Haïti : évaluation des conditions de développement sectoriel d'une innovation. 10 pages.
- UEMOA-CEDEAO-CILSS, 2016.** Catalogue Régional des Espèces et Variétés Végétales. 114pages.

**USDA., 2019.** Foreign Agriculture Service, grain Sorghum, World agriculture production, rapport, 11pages.

**Weber C. R., Shibles R. M., Byth D. E., 1965.** Effect of Plant Population and Row Spacing on Soybean Development and Production. *Agronomy Journal* 58 (1) : 99-102 .

[www.au-senegal.com](http://www.au-senegal.com), 2019. Aperçu de l'agriculture Sénégalaise.

**Yasin S., Gondal M.R, Hayat S.,Hussain A., Hanif., M.S., 2018.** Response of P2O5, K2O and seed rate on grain yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) fodder variety Bajra 2011. *International Journal of Bioscience* 12 (1) :403-409.

**Zand N., Shakiba M .R., 2013 .** Effect of plant density and nitrogen fertilizer on some attribute of grain sorghum (*sorghum bicolor* (l.) moench). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1(12) : 1577-1582.

**Zolikpo .S. Ayao. 2011.** Caractérisation Agro morphologique des cultivars traditionnels de sorgho (*Sorghum Bicolor*) au Bénin. Mémoire, Université d'Abomey Calvani Bénin, 82 pages.