



UNIVERSITE QUISQUEYA

Faculté des Sciences, de l'Agriculture et de l'Environnement (FSAE)

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome

« Sélection de familles F3 et S2 de sorgho sucré
pour la création de nouvelles variétés »

DORVAL Marie Darline

Option : Protection et Aménagement de l'Environnement

Janvier 2016

Encadreurs

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Gaël Pressoir pour m'avoir octroyé une bourse, me permettant de faire mon stage au Chibas et pour son encadrement tout au long de ce travail. Mes remerciements s'adressent également au staff du tutorat : François-Xavier Tardieu Lamure, Raphael Wesly Colbert et Emmanuel Jean-Claude Duvalsaint pour leurs conseils, leur encadrement, leur savoir-faire et leur patience. Grâce à eux ce travail a une vraie valeur scientifique.

Remerciements

Je bénis le nom du Seigneur, pour ses bienfaits ; pour m'avoir donné la santé, le courage et la persévérance afin de boucler ce cycle universitaire avec brio.

Je voudrais remercier particulièrement ma famille : mon père Jean Bérel Dorval, ma mère Rose Catalina Dorcenat, femme exceptionnelle, mère combative, mes frères et sœurs : Beatrice, Catherine, Widelet et Noclès pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements. Vous avez tous contribué à ma réussite aujourd'hui.

Je tiens à remercier également le Haitian Project (Louverture Cleary School) pour m'avoir inculqué les bases d'une solide instruction et pour leur soutien financier. La cause que vous défendez est juste : L'éducation est la base d'une bonne société, un jour Haïti renaîtra de ses cendres.

Un grand merci à mon petit ami Naldy Hans Steev Célestin pour ses conseils et ses encouragements. Ton aide m'a été précieuse mon chéri.

Un merci spécial à l'équipe du Chibas : Jean Rigaud Charles, Joseph Chrisnel Alcine (agr. Toto), Evald Maceno, Guerlinx Laforet pour leur précieuse collaboration. Un grand merci aussi aux travailleurs de champ : Patrice, Jean, Berad, Elizé, Maxson, Josué et les autres, sans eux ce travail ne serait pas terminé à temps.

Un grand merci à Yamilhée Augustin pour son aide dans la prise des mesures sur le terrain.

Je remercie le projet AKOSAA pour le financement des travaux de terrain.

Je remercie tous les professeurs qui ont contribué à ma formation jusqu'à aujourd'hui.

Un grand merci à tous mes amis: Merline Canga, Raphaëlla Yolande Coicou, Rhode Myriam Jean Baptiste, Francise Bernard, Vastie D'Haïti, Louissaint Gerlain, Sabiline Dorval et Renette Carcéus pour leur soutien et leurs encouragements.

Tous ceux, qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué pour la réalisation de ce travail, je vous dis un grand merci.

Table des matières	Page
Encadreurs	i
Remerciements.....	ii
Résumé	v
Abstract	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures	viii
Liste des photos	ix
Glossaire	xi
Introduction	1
I- Revue de Littérature.....	4
1.1- Répartition géographique du sorgho	4
1.2- Les caractéristiques botaniques du sorgho.....	4
1.3 Morphologie du sorgho	5
1.3.1- Le grain	5
1.3.2- L'inflorescence	5
1.3.3- La tige	5
1.3.4- Les racines.....	6
1.3.5- Les feuilles	6
1.3.6- Phases de développement du sorgho	6
1.3.7- Exigences pédoclimatiques du sorgho	7
1.3.8- Les itinéraires techniques du sorgho	7
1.3.9- Calendrier de culture.....	7
1.4- Les multiples usages du sorgho sucré.....	8
1.5- Zone de culture du sorgho en Haïti	8
1.6- Valeur énergétique et protéique du sorgho	9
1.7- L'histoire de l'amélioration variétale	10
1.8- L'amélioration du sorgho :.....	11
1.9- Méthodes de création variétale du sorgho	12
1.9.1- La sélection généalogique	12
1.9.2- La sélection récurrente :	12
1.10- La variété Papèsèk	14
1.11- La composition glucidique de la tige de sorgho sucré.....	15
1.12- L'idéotype de sorgho recherché	16

II- Méthodologie	17
2.1- Site expérimental.....	17
2.2- Matériel végétal.....	17
2.3- Matériels de travail	18
2.4- Description du dispositif expérimental.....	18
2.5- Travaux réalisés au champ.....	19
2.6- Méthodes.....	19
2.6.1- Les caractères évalués :	19
2.6.2 – Evaluation de l'épiaison	20
2.6.3- Détermination du diamètre au collet et au sommet des tiges	20
2.6.4- Evaluation de la floraison.....	21
2.6.5- Détermination de la hauteur des tiges	22
2.6.6- Evaluation de la maturité de la plante	22
2.6.7- Détermination du rendement grain	23
2.6.8- Détermination du poids des tiges avec et sans feuille.....	24
2.6.9- Détermination de la jutosité des tiges	24
2.6.10- Détermination du niveau de brix.....	25
2.6.11- Critères de présélection :	25
2.6.12- Analyse statistique	26
III- Résultats.....	27
❖ Première Partie.....	27
3.1- Le rendement grain des familles F3 et de la variété Papèsèk.	27
3.2- Le brix à maturité des familles F3 et de la variété Papèsèk.....	28
3.3- Le rendement grain des familles S2	30
3.4- Le brix à maturité des familles S2 et de la variété Papèsèk.....	31
3.5- Comparaison des familles sélectionnées pour le rendement grain et le brix	34
3.6- Test de régression pour le rendement grain et le brix des familles F3 et S2	35
❖ Deuxième partie.....	37
3.7- L'évolution du brix dans le temps	37
IV- Discussion	39
Conclusion.....	41
Bibliographie	42
Annexe.....	45

Résumé

Dans l'optique d'améliorer les performances agronomiques du sorgho sucré (*Sorghum bicolor*, L.), une étude a été réalisée dans la localité de Prince à Cabaret et dans la localité des Matheux à l'Arcahaie. L'objectif de cette étude était de sélectionner les meilleures familles de sorgho sucré qui donneront un rendement grain supérieur à 4 tonnes par hectare tout en ayant un brix supérieur ou égal à 16 % à la maturité des grains. Cette expérience a été menée sur 125 familles F3 (issues d'un programme de sélection généalogique du Chibas) et 150 familles S2 (issues d'un programme de sélection récurrente sur une population ségrégeant pour le gène de stérilité mâle *ms3*). La variété Papèsèk a été utilisée comme témoin car elle est la seule variété à avoir un rendement grain stable et élevé (plus de 4 tonnes par hectare).

Ces plantes ont été réparties de manière aléatoire dans un dispositif complètement randomisé avec 3 blocs sur deux localités. Cinq familles F3 et dix-huit familles S2 ont répondu aux critères de sélection et ont été sélectionnées pour la création de nouvelles variétés. Le choix de ces familles a porté sur la précocité, la hauteur, et plus spécifiquement sur le rendement grain et le brix à maturité. Ces familles ont été testées en comparaison à la variété Papèsèk et avec un autre groupe de familles choisies de manière aléatoire dans le but de tester l'efficacité de la sélection.

Les résultats des analyses pour le rendement grain nous ont montré que les familles F3 et S2 sélectionnées pour la création de nouvelles variétés peuvent donner un rendement grain comparable à celui de la variété Papèsèk. De même pour le brix à maturité toutes les familles, qu'elles soient sélectionnées ou choisies de manière aléatoire, ont un brix supérieur à 16, donc dépassant celui de la variété Papèsèk. Le brix des variétés sélectionnées, F3 ou S2 est stable, contrairement au brix de Papèsèk qui augmente entre la maturité et le 14^e jour après maturité. Les résultats du test de régression ont montré qu'il existe une relation négative entre le rendement grain et le brix des familles F3 et S2, néanmoins cette relation est plus prononcée chez les F3 que chez les S2.

Du fait que nous avons pu sélectionner des familles avec un rendement grain supérieur ou égal à celui de la variété Papèsèk et un brix supérieur à 16 à la maturité des grains, nous pouvons dire qu'il est possible de créer des variétés sucrées et juteuses dès la maturité avec un haut rendement grain.

Mots clés : amélioration variétale, rendement grain, brix, sélection récurrente, sélection généalogique, corrélation.

Abstract

In order to improve the agronomic performance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor, L.*), a study was conducted at Prince (Cabaret) and in Matheux (Arcahaie). The objective of this study was to select the best sweet sorghum's genotype that yield around 4 tons per hectare while having a brix higher or equal to 16 at maturity. One hundred twenty five F3 families (Pedigree method) and 150 S2 families (from a recurrent selection program and male sterility gene) of sweet sorghum were used. The variety Papèsèk was used as Check because of its interesting production level and high yield stability. A randomized complete block design with three replications was used at both locations. Five families F3 and 18 families S2 were selected for the creation of new varieties. The choice of these families has focused on the earliness, height, and more specifically on the grain yield and brix level at maturity. These families were compared to Papèsèk and another group of lines was chosen randomly in order to test the efficiency of the selection.

The results showed that F3 and S2 families selected for grain yield are similar yield to Papèsèk variety (more than 4 tons per hectare). Similarly for brix level at maturity, all families, which are selected or randomly chosen, exceeded Papèsèk level (above 16). There was no brix evolution in general. The brix level remained more or less stable for the three measurements over a month for F3 and S2 families selected. In contrast to Papèsèk whose brix increased between maturity and 14th day after. There is a negative relation between grain yield and brix for F3 and S2 families selected, but it's more significant on F3 families than S2.

Because families were selected with higher grain yield than or equal to Papèsèk variety and brix above 16 at maturity, it is possible to obtain new sweet sorghum varieties with early maturity and high grain yield.

Key words: Varietal improvement, grain yield, brix, recurrent selection, genealogical selection, correlation.

Liste des tableaux

Tableaux	Page
1 : Valeur protéique du sorgho	10
2 : Valeur énergétique du sorgho.....	10
3: ANOVA. Le rendement grain des familles F3 et de la variété Papèsèk.	27
4 : ANOVA. Le brix à maturité des familles F3 et de la variété Papèsèk.....	28
5 : Analyse 2 à 2 des familles F3 et de la variété Papèsèk en fonction du brix.	29
6 : ANOVA. Le rendement grain des familles S2 et de la variété Papèsèk.	30
7 : Analyse 2 à 2 des familles S2 et de la variété Papèsèk pour le rendement grain.	31
8 : ANOVA. Le brix à maturité des familles S2 et de la variété Papèsèk.....	32
9 : Analyse 2 à 2 des familles S2 et de la variété Papèsèk pour le brix à maturité.....	33
10 : Résumé d'analyse de variance pour les familles F3 et S2 sélectionnées.	34
11 : ANOVA. Test de régression pour le rendement grain et le brix des familles F3.	35
12 : ANOVA. Test de régression pour le rendement grain et le brix des familles S2.	36
13 : ANOVA : Augmentation temporelle du brix.	37
14 : Les différentes familles utilisées pour les analyses.....	45
15 : Valeurs moyennes pour le rendement et le brix à maturité des F3, S2 et de Papèsèk.	46

Liste des figures

Figures	Page
1 : Répartition des cinq races principales de sorghos cultivés.	4
2 : Les multiples usages du sorgho sucré.	8
3 : Répartition des zones de culture du sorgho en Haïti.....	9
4 : Les différentes étapes de l'amélioration variétale.....	11
5 : Sélection généalogique du sorgho.....	13
6 : Sélection récurrente du sorgho.	14
7 : Concentration en sucre de six variétés de sorgho à maturité des grains.	15
8 : Carte de la zone d'étude.	17
9 : Histogramme des résiduels du rendement grain des familles F3 et de Papèsèk.....	27
10 : Boîte à moustaches pour le rendement grain des familles F3 et de la variété Papèsèk.	28
11 : Boîte à moustaches pour le brix à maturité des familles F3 et Papèsèk.....	29
12 : Boîte à moustaches pour le rendement grain des familles S2 et Papèsèk.	30
13 : Histogramme des résiduels du brix à maturité des familles S2 et de Papèsèk.	32
14 : Boîte à moustaches du brix à maturité des familles S2 et de Papèsèk.	33
15: Boîtes à moustaches du rendement et du brix à maturité des familles F3 et S2	34
16 : Graphique de corrélation pour le rendement grain et le brix des familles F3.	35
17 : Graphique de corrélation pour le rendement grain et le brix des familles S2	36
18 : Evolution temporelle du brix de Papèsèk et des familles F3 sélectionnées.	37
19 : Evolution temporelle du brix des familles S2 sélectionnées.	38
20 : Tendances évolutive du brix de la variété Papèsèk.	45

Liste des photos

Photos	Page
1 : Plantation et séance d'arrosage du champ.	19
2 : Epiaison des panicules.	20
3 : Mesure du diamètre au sommet et au collet des plantes.	21
4 : Phase de floraison de la plante.	22
5 : Mesure de la hauteur des plantes.	22
6 : Evaluation de la maturité des plantes.	23
7 : Récolte et mesure du poids des panicules.	24
8 : Mesure du poids des tiges avec et sans feuilles.	24
9 : Moulinage, mesure du poids et du volume de jus.	25
10 : Mesure du brix.	25
11 : Matériels utilisés.	46

Quelques définitions

Bloc : Groupe homogène d'unités expérimentales.

Brix : Quantité de sucres solubles présents dans le jus de la plante.

Dispositif complètement randomisé : Attribution complètement aléatoire des traitements dans un dispositif expérimental.

Dispositif expérimental : Ensemble des unités expérimentales placées dans les conditions d'une expérience ou encore une carte de règles désignant les traitements assignés aux unités expérimentales.

Famille : Division systématique d'un ordre ou d'un sous-ordre qui regroupe les genres ayant de nombreux caractères communs.

Réfractomètre : Appareil permettant de connaître la concentration d'un soluté dans un solvant connu.

Répétition : affectation d'un même traitement à plusieurs unités expérimentales

Sélection généalogique : Sélection qui débute par le croisement de deux parents dont les caractères sont jugés intéressants et complémentaires. Les graines issues d'autofécondation de chaque famille/plante sélectionnée à une génération sont récoltées séparément pour être ressemées l'année suivante en descendance individualisées.

Sélection récurrente : Sélection cyclique qui consiste en des croisements et des autofécondations des meilleures plantes au sein d'une même population ou avec d'autres populations.

Sélection variétale : Choix dans une espèce végétale des individus ou familles dont les qualités ou les caractéristiques permettront d'améliorer l'espèce ou de la modifier dans un sens déterminé pour leur adaptation aux besoins des utilisateurs.

Traitement : Toute modalité d'un facteur unique, de même que toute combinaison de modalité de deux ou plusieurs facteurs dont l'effet sur le matériel expérimental peut être mesuré.

Variété : Unité plus petite que l'espèce, dont les individus présentent un trait commun qui les différencie des autres variétés de la même espèce.

Glossaire

CME : Carré Moyen des Ecart.

CNSA : Coordination Nationale de la Sécurité Alimentaire.

DL : degré de Liberté.

EM : Teneur en Energie Métabolisable (kilocalories/kg MS).

F3, S2 alea : Familles choisies de manière aléatoire, représentant la totalité de la population.

F3, S2 selc : Familles avec de bonnes performances, sélectionnées pour la création de nouvelles variétés.

H0 : Hypothèse nulle.

H1 : Hypothèse alternative.

MARNDR : Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural.

NS : Non Significatif.

PDIE : Protéines Digestibles dans l'Intestin dont la part d'origine microbienne correspond à l'Energie de l'aliment fermentée dans le rumen (g/kg).

PDIN : Protéines Digestibles dans l'Intestin dont la part d'origine microbienne correspond à l'Azote de l'aliment dégradé dans le rumen (g/kg).

SCE : Somme des Carrés des Ecart.

UE : Unité d'encombrement.

UFC: Unité Fourragère pour les Equins.

UFL: Unité Fourragère pour les femelles Laitières.

UFV: Unité Fourragère pour les femelles Allaitantes.

*** : 0

*** : 0.001

* : 0.05

Introduction

L'amélioration des plantes est le processus par lequel l'homme modifie une espèce végétale. Cette modification peut avoir plusieurs objectifs : pour la domestication des plantes sauvages, l'amélioration du goût, l'augmentation du rendement, la résistance au stress biotique (maladies, ravageurs et microorganismes), abiotique (sécheresse, pH, salinité, et carences en éléments nutritifs) et depuis quelque temps pour satisfaire les exigences du changement climatique. L'amélioration des plantes a pris naissance avec la découverte de l'agriculture. Au début elle était très limitée, car à ce moment l'homme ne maîtrisait pas encore les techniques de croisement et ignorait les notions de base de la génétique. Pour améliorer leur production les agriculteurs étaient obligés d'utiliser une méthode de sélection empirique appelée sélection massale. Cette méthode consistait à choisir les plus belles plantes de la récolte comme semence pour assurer la perpétuité de la culture, mais elle s'avérait inefficace quand les caractères sélectionnés sont corrélés de façon négative (Cirad et Gret, 2006) ou pour les caractères complexes de faible héritabilité. Grâce aux découvertes des lois de Mendel sur l'hérédité, des travaux de Galton sur l'héritabilité, de Darwin sur la sélection naturelle, et d'autres travaux réalisés dans le domaine (découverte du rôle des organes sexuels des végétaux en 1676, découverte de l'ADN polymérase en 1956), l'homme a pu progressivement développer et utiliser d'autres méthodes pour avoir des variétés beaucoup plus performantes, et l'amélioration des plantes a ainsi véritablement débuté ¹.

Le sorgho (*Sorghum bicolor*, L.) est une céréale des zones tropicales originaire d'Afrique. Il appartient à la famille des Poaceae et au genre Sorghum. C'est une plante à usages multiples; il est utilisé dans l'alimentation humaine (les grains), dans l'alimentation animale [(tiges, grains et feuilles) Chibas, 2014], et dans certaines régions d'Afrique les tiges sont utilisées dans la construction et comme combustible (Chantereau et Nicou, 1991). Chez le sorgho certaines variétés sont réputées pour leur tige sucrée et juteuse, elles sont désignées sous le nom de sorgho sucré. Ces variétés en plus de fournir des grains pour l'alimentation (humaine et animale), donne aussi un jus sucré utilisable pour faire du sirop, du clairin [(rhum blanc produit en Haïti) Leclerc et al, 2014] et du bioéthanol. Toutes ces potentialités rendent le sorgho sucré très important sur le plan industriel (sirop, colle, amidon, colorants, malts pour brasserie, biocarburant). Cependant, malgré toutes les innovations dont il fait l'objet depuis quelques temps [projet S3F; Food, Fuel,

¹ www.gnis-pedagogie.org

Feed (Chibas, 2014)], les améliorateurs n'ont pas encore sélectionnés de variétés de sorgho sucré permettant de maximiser le rendement grain tout en étant juteuses et sucrées dès la maturité des grains. Il faut préciser que le sorgho est souvent cultivé pour son rendement grain et parfois pour ses tiges (cas de sorgho sucré et fourrager), mais rarement de manière optimale pour les deux à la fois. Ceci signifie que la compétition (trade-off) susceptible d'exister entre la production de sucre des tiges et la production de grain mérite d'être approfondie afin de déterminer si l'on peut produire des variétés de sorgho capable de maximiser la production de grain tout en produisant un rendement satisfaisant de sucre dans les tiges.

Le Chibas, qui est un centre de recherche en agriculture a déjà diffusé 2 variétés de sorgho sucré : Papèsèk et Dekabès. La variété Papèsèk est réputée pour son rendement grain et peut aller jusqu'à plus de 4 tonnes par hectare par saison, avec une densité moyenne (57,000 plantes par hectare) et avec une faible utilisation d'intrants (Chibas, 2012), mais elle a un brix inférieur à 16 à la maturité des grains, ce qui ne l'avantage pas pour la production du sirop et du clairin ; en effet les industriels exigent une variété avec un brix >16 % pour la production du clairin. Par contre la variété Dekabès a un rendement grain inférieur à celui de Papèsèk : 2.3 t/ha, mais son brix dépasse celui de Papèsèk à la maturité des grains : 17- 18% ; Dekabès permet la production d'un rhum aromatique (Chibas, 2014).

Le Chibas voulant réunir ces performances au sein d'une même variété (rendement grain \geq 4 tonnes par hectare et brix \geq 16 dès la maturité des grains), a croisé ces deux variétés pour initier un programme de sélection généalogique. De ce croisement il a obtenu un hybride: F1, qu'il a ensuite autofécondé pour obtenir une population F2. Les familles F2 ont été évaluées pour la taille des panicules et les meilleures ont été sélectionnées pour former une population de familles F3. Une autre méthode a aussi été utilisée par le Chibas pour la création de nouvelles variétés, c'est la sélection récurrente. Cette méthode donne les mêmes résultats que la sélection généalogique sauf que le processus pour obtenir les familles S2 consiste en des croisements et des autofécondations au sein des populations de familles S1 (cette population a également fait l'objet de croisement des variétés Papèsèk et Dekabès avec une population ségrégeant pour le gène de stérilité mâle *ms3* fournie par le CIRAD) ; les familles S1 avaient été sélectionnées pour la précocité, le niveau de brix, la hauteur et la taille des panicules. Tous ces travaux nous ont

poussés à nous questionner sur la possibilité de créer une variété sucrée et juteuse avec un haut rendement grain.

Le but de ce travail est de :

1. Sélectionner les meilleures familles F3 et S2 de sorgho sucré susceptibles de donner un haut rendement grain et des tiges sucrées et juteuses dès la maturité des grains pour la création de nouvelles variétés.
2. Contrôler l'évolution temporelle du brix des variétés sélectionnées.
3. Vérifier s'il existe une relation entre le brix et le rendement grain des familles F3 et S2.

Pour y arriver, nous avons d'abord évalué les 125 familles F3 et 160 familles S2 en fonction: des paramètres végétatifs (épiaison, floraison), de rendement (poids: panicules, tiges, feuilles, jus), de croissance (diamètre, hauteur des tiges) et du brix. Cette évaluation nous a permis de tester les performances des différentes familles. Ensuite la comparaison des familles entre elles et avec la variété Papèsèk avait été faite dans le but de tester l'efficacité de la sélection.

Afin de contrôler l'évolution du brix dans le temps nous l'avons mesuré à trois dates différentes pendant un mois (0, 14, 28 jours après maturité des grains).

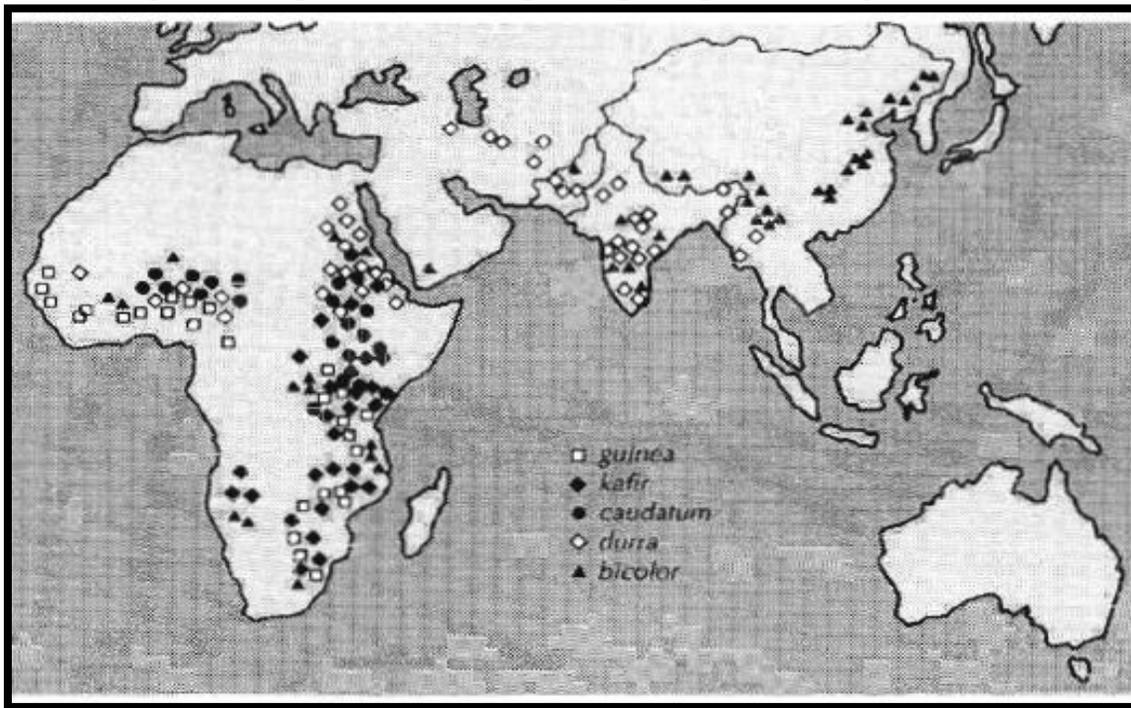
Une variété de sorgho juteuse et sucrée dès la maturité avec un haut rendement grain permettra aux agriculteurs de diversifier leurs sources de revenu à partir d'une seule culture. Ils pourront vendre les tiges sucrées et juteuses aux distilleries ; les grains aux marchands et consommateurs. Il s'ensuivra une augmentation de leur revenu et une amélioration de leur train de vie (Saint-Paul, 2013). D'un autre côté les guildiveries et siroperies auront d'autres sources de matières premières, elles pourront par conséquent rallonger leur période de fonctionnement qui ne dépend jusqu'à présent que de la canne-à-sucre (Leclerc et al, 2014).

I- Revue de Littérature

1.1- Répartition géographique du sorgho

Le sorgho est une céréale à usages multiples originaire d'Afrique, plus précisément d'Ethiopie. C'est la cinquième céréale mondiale et la troisième en Haïti actuellement après le riz et le maïs (Leclerc et al, 2014). La production mondiale est passée de 56 millions de tonnes en 2009 à 58 millions en 2012². Les plus grands producteurs de sorgho à travers le monde sont le Mexique, le Nigeria, l'Inde et les Etats Unis. Le sorgho est cultivé partout dans le monde, tant en zone tropicale qu'en zone tempérée.

Figure 1 : Répartition des cinq races principales de sorghos cultivés.



Source : Ollitrault et al (1989).

1.2- Les caractéristiques botaniques du sorgho

Le sorgho est une céréale qui appartient à la famille des Poaceae et à la tribu des andropogonea qui comprend aussi la canne à sucre et le maïs (Cirad et Gret, 2006). C'est une graminée de type C4 d'une grande plasticité. Cette plasticité lui permet d'utiliser de manière optimale l'eau et les éléments minéraux du sol. Il possède un potentiel de rendement élevé qui est comparable à celui des autres céréales (blé, riz et maïs) et peut aller jusqu'à 7 à 9 tonnes par hectare quand il ne subit

² <http://faostat3.fao.org>

pas de stress hydrique (House, 1987). Le sorgho est aussi moins exigeant en eau que les autres céréales [332 kg d'eau pour produire 1 kg de matière sèche (House, 1987)], d'ailleurs c'est une céréale de zone sèche. C'est une plante hermaphrodite (organes mâle et femelle dans la même fleur), autogame [capacité de se reproduire par autofécondation (Cirad et Gret, 2006)], d'une grande diversité génétique dont le genre sorghum est divisé en 5 races principales et 10 races intermédiaires en fonction des caractéristiques de la panicule et de l'épillet : Durra, Bicolor, Guinea, Kafir et Caudatum (Harlan et De Wet, 1972 ; Chantereau et Nicou, 1991).

1.3 Morphologie du sorgho

1.3.1- Le grain

Le grain de sorgho est un fruit sec indéhiscent qui comporte 3 parties principales : le péricarpe qui est l'enveloppe qui recouvre le grain, le tissu de réserve qui constitue l'albumen et l'embryon. Dépendamment de la variété, entre le péricarpe et l'albumen peut s'insérer une couche hautement pigmentée : la couche brune, encore appelée testa. Cette couche est riche en tanins. Elle permet aux grains de mieux résister aux moisissures et aux attaques d'oiseaux. Par contre, d'un autre côté elle diminue la digestibilité des grains pour l'alimentation humaine. Les facteurs génétiques des variétés peuvent influencer la couleur du grain de sorgho. La clarté du grain est inversement proportionnelle à sa teneur en tanins, ainsi plus le grain est clair, plus sa teneur en tanins diminue (Cirad et Gret, 2006).

1.3.2- L'inflorescence

L'inflorescence du sorgho est une panicule. Elle peut être courte et compacte, lâche et ouverte (House, 1987). Elle est constituée d'un axe central : le rachis, d'où partent des branches primaires souvent groupées en verticille le long du rachis. Ces ramifications primaires portent des ramifications secondaires qui, à leur tour, peuvent donner des tertiaires. La ramification ultime est un racème. Il porte une paire d'épillets, l'un sessile et fertile, l'autre pédicelle et stérile (Cirad et Gret, 2006)

1.3.3- La tige

Le sorgho comprend une tige principale qui a généralement une croissance érigée. La tige peut être accompagnée de talles qui sont issues du développement de bourgeons adventifs. Le nombre de talles par plante varie en fonction de la variété et des conditions de culture. Ce nombre est très

élevé chez les sorghos tropicaux mais très faible chez les hybrides Nord- Américains à forte densité de semis (Chantereau et Nicou, 1991) Les tissus internes de la tige peuvent être insipides ou sucrés, secs ou juteux. La hauteur de la tige peut varier de 50 cm à 5 m à maturité. Elle dépend du nombre et de la taille des entre-nœuds émis. La grosseur des tiges peut varier de 5 mm à 4 cm de diamètre à la base (Cirad et Gret, 2006).

1.3.4- Les racines

Le sorgho a un système racinaire très développé qui comprend des racines primaires, secondaires, et adventives. Grâce au grand développement de ses racines, la plante peut s'alimenter à des profondeurs très élevées dans le sol. Les racines primaires apparaissent au moment de la germination mais elles ne vivent pas durant tout le cycle de vie de la plante. Elles meurent au moment de la phase végétative pour être remplacées par des racines adventives. Ces dernières ne participent pas à la nutrition de la plante (House, 1987).

1.3.5- Les feuilles

Le nombre de feuilles portées par plante varie selon le cycle des variétés. Une tige peut porter de quelques feuilles à plus de trente unités. La longueur des feuilles varie de 30 à 135 cm et leur largeur peut être de 1.5 à 13 cm au niveau le plus large. La couleur de la nervure centrale varie suivant le type de sorgho. Elle peut être blanche ou jaune chez les sorghos à tige sèche, et verte chez les sorghos juteux. Sous l'influence de la mutation de la lignine la nervure peut être brune, ce qui améliore la qualité fourragère des pailles pour les sorghos fourragers. Les feuilles peuvent être tachetées : si les taches sont rouges on parle de sorgho anthocyané, si elles sont jaunes on parle de sorgho tan (Cirad et Gret, 2006).

1.3.6- Phases de développement du sorgho

D'abord nous avons la phase végétative qui débute dès la germination de la graine pour prendre fin à l'initiation florale. Durant cette phase la plante émet ses premières feuilles, épuise ses réserves et devient complètement dépendante du milieu où elle se trouve. Ensuite débute la phase reproductive avec l'initiation florale : la dernière feuille se gonfle, l'épi commence à se former, et la panicule se dégage, contribuant à la floraison qui commence à partir du sommet de la panicule. Cette phase se termine avec la pollinisation de la plante. La phase de maturation, dernière phase s'étend de la fin de la pollinisation jusqu'à la maturité de la plante. Une fois la pollinisation terminée, le grain de sorgho commence à accumuler de l'amidon et du sucre

pendant 30 à 50 jours environ. Ce temps de remplissage dépend de la variété et des facteurs climatiques du milieu. Le grain devient laiteux, puis pâteux avant d'arriver à maturité. La maturité du grain de sorgho est caractérisée par la dureté de son grain et par l'apparition d'un point noir à la base de la région du hile (Chantereau et Nicou, 1991).

1.3.7- Exigences pédoclimatiques du sorgho

Le grain de sorgho nécessite un sol humide et des températures moyennes journalières supérieures à 12° C (Cirad et Gret, 2006). Les semences germent trois ou quatre jours après la mise en terre, la température optimum de croissance étant de 30°C environ. Le sorgho s'adapte à presque tous les terrains mais sa culture peut tolérer un sol avec un pH de 4.5 jusqu'à 8.5. C'est une plante qui présente aussi une certaine tolérance à la salinité (Hugues et al, 1967).

1.3.8- Les itinéraires techniques du sorgho

- Désherbage
- Labourage
- hersage
- Profondeur de semis 2 à 3 cm
- Densité de plantation (de 3 à 5 graines/poquet) suivi d'un démariage afin de laisser une plantule par poquet
- Distance entre poquet (25 cm)
- Distance interligne (70 cm)
- Mesure de chaque ligne (5 mètres)
- Nombre de lignes (3)
- Semis direct

1.3.9- Calendrier de culture

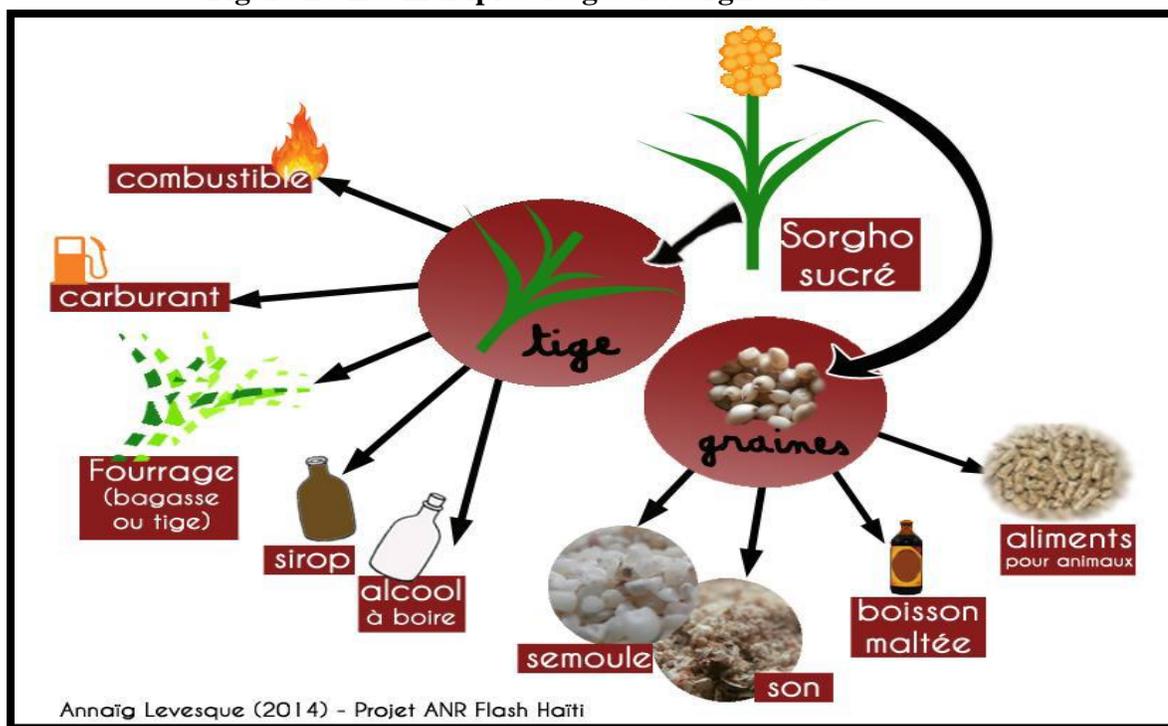
En Haïti le sorgho peut être cultivé durant toute l'année dépendamment de la quantité d'eau disponible dans la zone. Néanmoins on distingue 3 saisons de culture : il y a la saison de printemps (Mars – Juillet), la saison d'été (Juin – Octobre) et la saison d'automne (Juillet-Décembre). La meilleure saison pour la culture du sorgho est celle d'automne, elle permet d'obtenir des grains de meilleure qualité (Chibas, 2012).

1.4- Les multiples usages du sorgho sucré

Le sorgho est une plante à multiples fonctions. Dépendamment de l'utilisation qui en est faite on distingue :

- Des sorghos à double usages : alimentation humaine et animale.
- Des sorghos à triple usages : alimentation humaine, alimentation animale, usages agro-industriels et usages divers.
 - L'alimentation humaine : couscous, bière, galettes, bouillies, porridges.
 - L'alimentation animale : fourrage, ensilage, granulées et compléments alimentaires.
 - Usages agro-industriels (grains et tiges) : sirop, colle, colorant, amidon, malts pour brasseries, agroc carburant.
 - Usages divers : construction, cuisson, teinture, balais (Trouche et Chantereau).

Figure 2 : Les multiples usages du sorgho sucré.

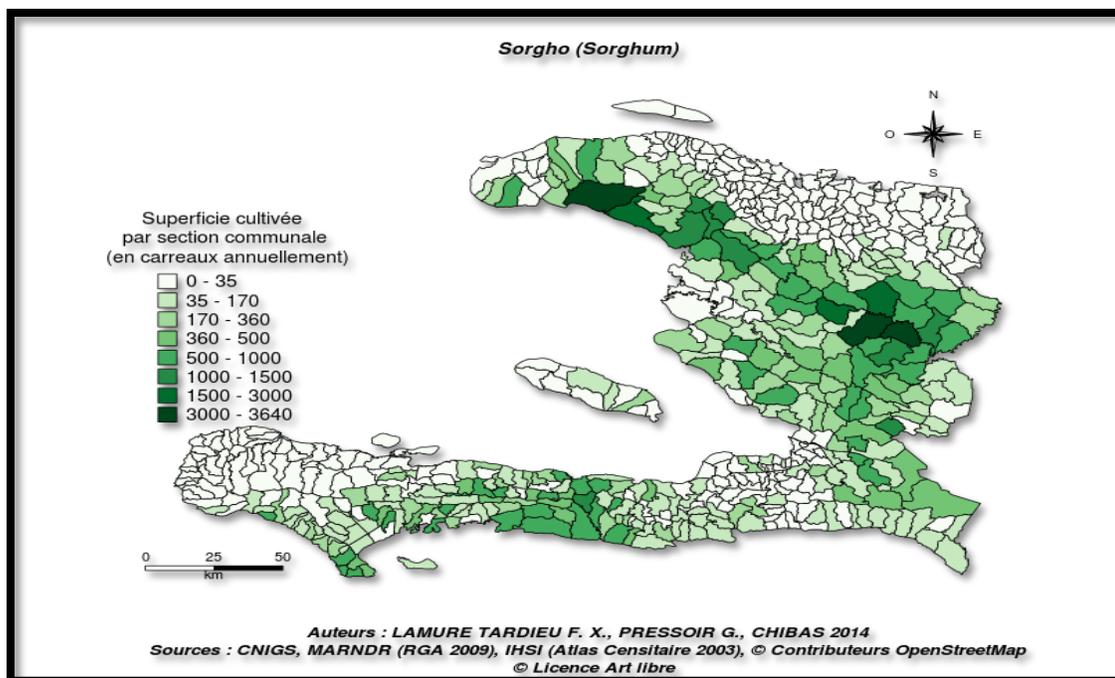


1.5- Zone de culture du sorgho en Haïti

- En 2009 il y avait un total de 99 000 carreaux de terre emblavés en culture de sorgho, avec une moyenne de 700 carreaux par commune (MARNDR, 2012). Cette superficie

représentait 21.3% des surfaces en céréales du pays. En 2013 cette surface a légèrement diminué pour passer à 98275 carreaux, avec un rendement de 1.17 tonnes par hectare pour une production totale de 108133 tonnes³. Les zones de grande production de sorgho en termes de surfaces cultivées sont : Hinche (9755 carreaux), Anse Rouge (5394 carreaux) et Gonaïves (5344 carreaux). On a aussi les communes d'Aquin, de Ganthier et de Petit-Goâve comme grands producteurs de sorgho (CNSA, 2011).

Figure 3 : Répartition des zones de culture du sorgho en Haïti.



1.6- Valeur énergétique et protéique du sorgho

Comme toutes les céréales, le sorgho grain a une valeur énergétique très élevée qui est due à la présence de l'amidon dans son grain (Dehayin, 2007). Cette valeur varie selon les animaux (voir Tableau 2). Pour les volailles c'est la céréale avec la valeur énergétique métabolisable la plus élevée (Dehayin, 2007). Parallèlement le sorgho est une plante qui a un faible apport protéique dans la ration alimentaire, c'est pourquoi il est recommandé de le compléter avec un autre aliment riche en azote.

³ <http://faostat3.fao.org>

Tableau 1 : Valeur protéique du sorgho

Sorgho	Valeur protéique g/kg MS	
	PDIN	PDIE
Grain	77	101
Fourrage : montaison	119	93
Fourrage : stade grain laiteux	43	64
Fourrage : stade grain vitreux	-	-

Tableau 2 : Valeur énergétique du sorgho.

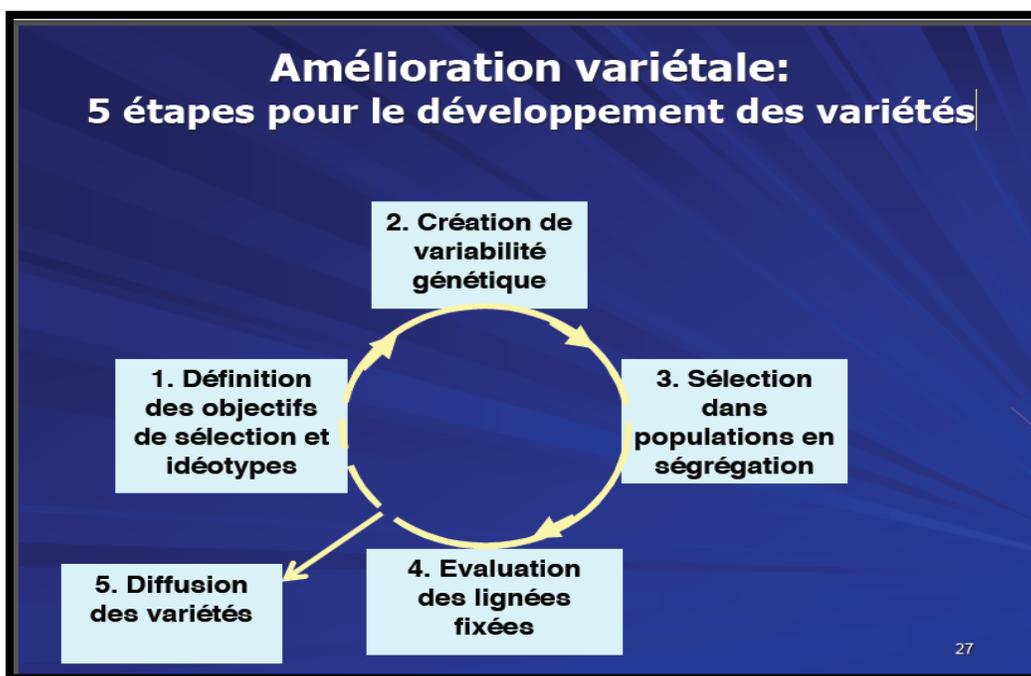
Sorgho	Valeur énergétique Kg/MS	
Ruminants	1.21 UFL	0.81 à 0.69 UFL
	1.22 UFV	0.74 à 0.61 UFV
Equins	1.24 UFC	?
Porcins	3838 à 3884 kcals EM	Sans objet
Volailles	3734 à 3815 kcals EM	Sans objet

1.7- L'histoire de l'amélioration variétale

L'amélioration des plantes est l'ensemble des techniques qui consiste à modifier une culture dans le but d'augmenter ou de diversifier ses performances agronomiques. L'homme a toujours sélectionné les plantes, de manière consciente ou pas. Au début il le faisait dans le but de se nourrir et de se loger en utilisant la sélection massale. Cette méthode consiste à choisir les meilleurs individus de la récolte pour assurer la pérennité de la culture, mais ce n'était pas suffisant. A la fin du 19^{ème} siècle grâce aux avancées technologiques et aux progrès scientifiques, l'homme a pu réaliser les premiers croisements. En 1900 avec l'application des lois de Mendel, la sélection a véritablement débutée et dès lors l'homme n'a pas cessé de créer de nouvelles variétés répondant aux objectifs du marché. Les méthodes de sélection dépend des objectifs et du contexte socio-économique de la sélection, car de nos jours le succès d'une variété ne dépend pas seulement de sa productivité mais aussi de sa résistance aux maladies, aux attaques d'insectes et

à son adaptabilité au changement climatique (Charrier et al, 1997). La création variétale est un travail fastidieux qui nécessite beaucoup de temps car il comprend plusieurs étapes (voir la Figure 4 ci-dessous), ce processus dure parfois 10 à 15 ans. En plus d'être du domaine de la génétique, elle est aussi une activité économique qui permet d'obtenir des progrès allant dans le sens du développement durable (Cirad et Gret, 2006).

Figure 4 : Les différentes étapes de l'amélioration variétale.



Source : Trouche et Chantereau.

1.8- L'amélioration du sorgho :

La domestication du sorgho a commencé en bordure du Sahara il y a 7 millénaires où on a d'abord obtenu un sorgho primitif. Ensuite des races ont été sélectionnées à travers le reste de l'Afrique et ont été commercialisées à travers l'Europe et l'Amérique (Charrier et al, 1997). Les premiers travaux d'amélioration du sorgho ont débuté aux Etats-Unis à la fin du XIX siècle⁴. Ces travaux ont permis de transformer des variétés africaines photopériodiques très hautes en variétés précoces et non photopériodiques qui sont plus adaptées au climat européen. Au fil des années, diverses sélections réalisées par de nombreux sélectionneurs à travers le monde et d'autres travaux réalisés sur le sorgho (découverte de la vigueur hybride, découverte de la stérilité mâle cytoplasmique) ont favorisé la création des hybrides F1 et ont permis d'augmenter encore le

⁴ www.gnis-pedagogie.org

rendement de cette plante.

1.9- Méthodes de création variétale du sorgho

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour créer de nouvelles variétés de sorgho dont : la sélection massale, la sélection généalogique, le rétrocroisement, la sélection récurrente, l'hybridation, la sélection assistée par marqueurs, etc (Charrier et al, 1997). Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé la sélection généalogique pour les familles F3 et la sélection récurrente pour les familles S2.

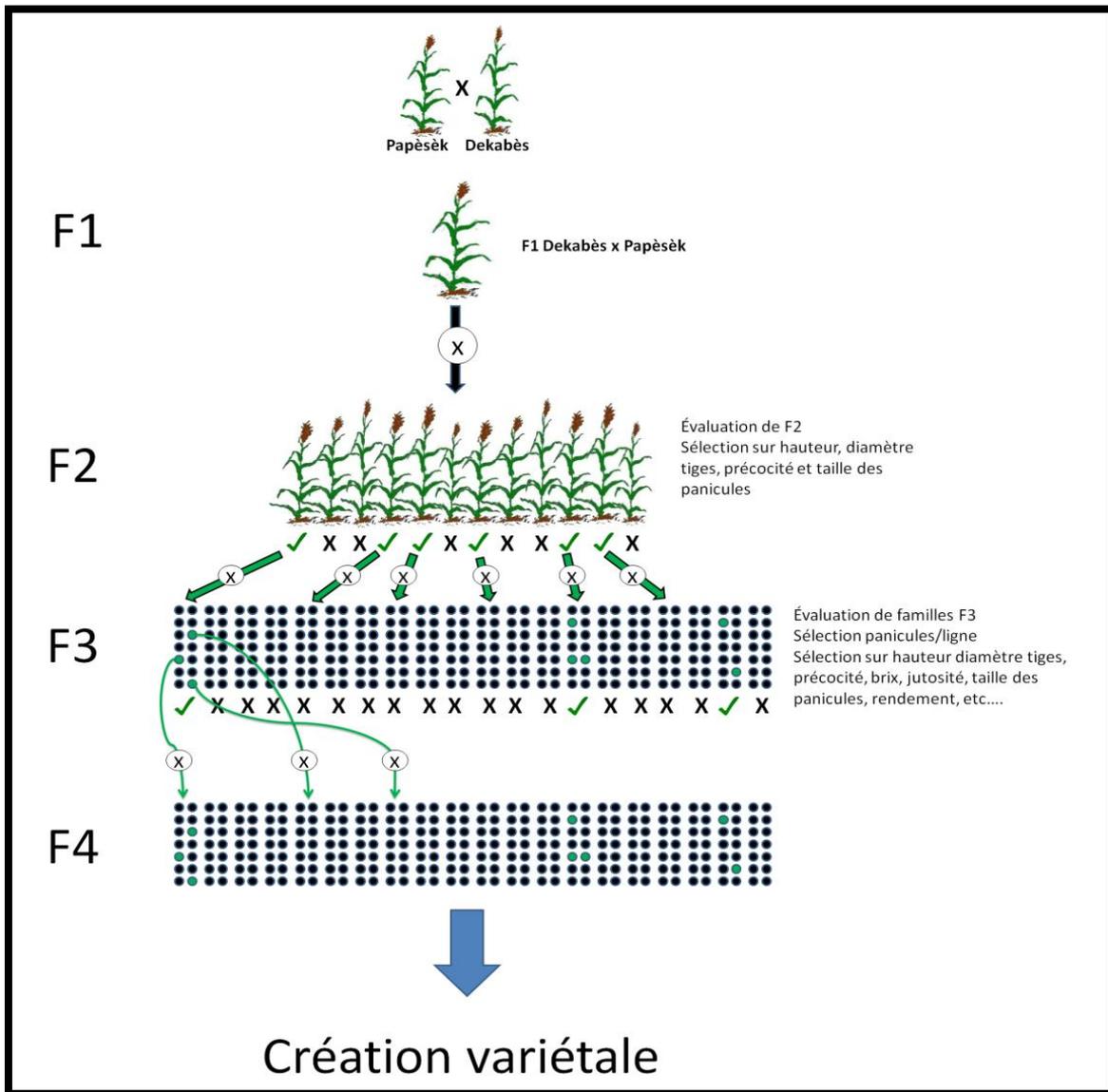
1.9.1- La sélection généalogique

La sélection généalogique débute par le croisement de deux plantes (parents) dont les caractères sont jugés intéressants et complémentaires. Les plantes issues de ce croisement sont hétérozygotes pour un grand nombre de gènes et présentent une forte variabilité de phénotypes. Elles sont autofécondées afin de produire des plantes dont le niveau d'hétérozygotie est moins grand, au sein desquelles le sélectionneur choisit les meilleurs individus. Ces individus sont autofécondés et testés pendant 4 générations afin de produire des lignées fixées. La sélection est dite généalogique car les graines de chaque plante choisie à une génération sont récoltées séparément pour être ressemées l'année suivante en descendance individualisées. Cette méthode de récolte réduit les risques de fécondation croisée entre génotypes différents et facilite donc le rétablissement rapide de l'homozygotie. C'est une méthode qui demande beaucoup de travail car on doit observer de nombreux individus, surtout durant les premières générations (House, 1987).

1.9.2- La sélection récurrente :

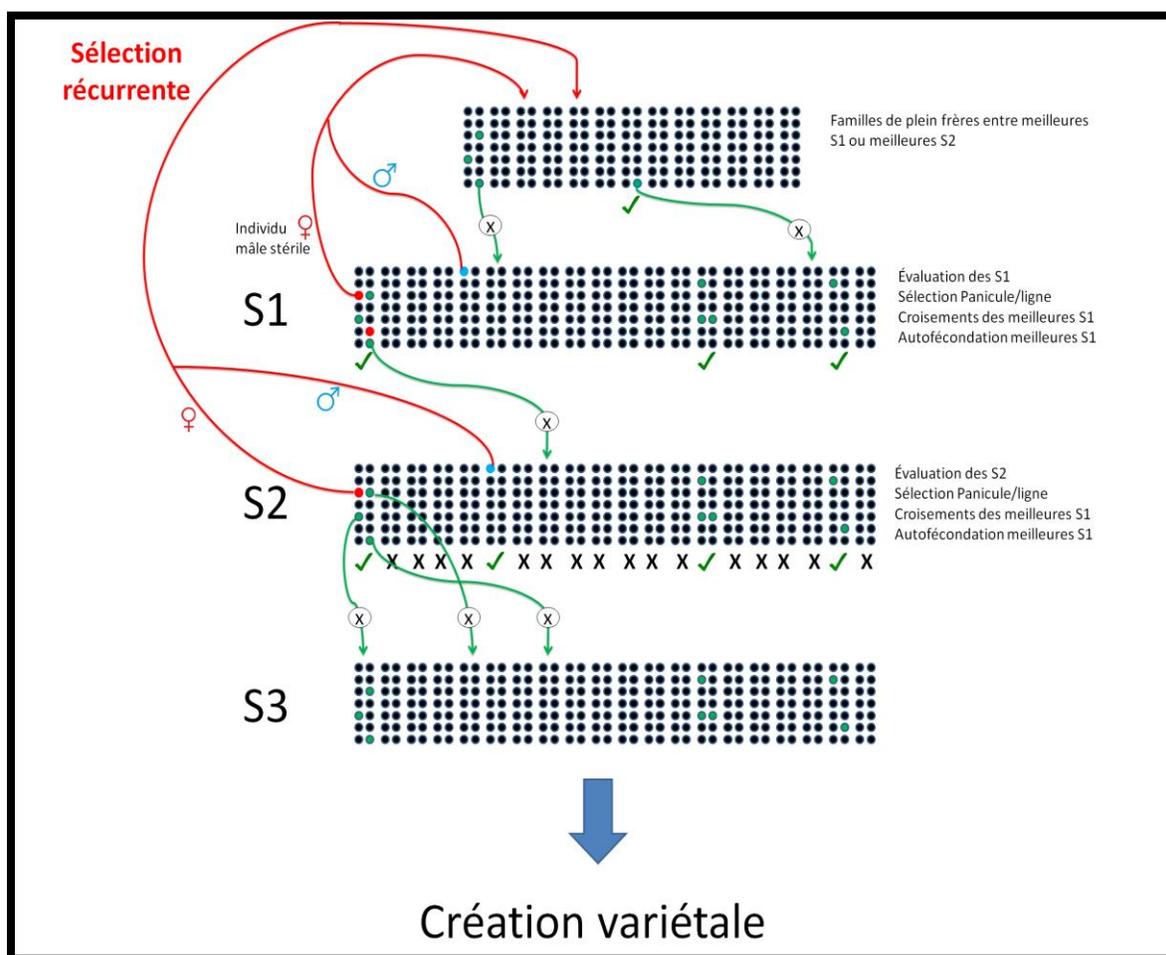
La sélection récurrente est une sélection familiale où les croisements sont cette fois contrôlés, ce qui conduit à la sélection de lignées ou d'hybrides. La première étape de cette méthode consiste à autoféconder les plantes d'une population de départ (familles S1). Les individus (non encore fixés) ainsi obtenus sont ensuite testés, et les meilleurs sont inter-croisés. Un gène de stérilité mâle est en général utilisé pour que les fécondations croisées se fassent spontanément au champ ou manuellement. On obtient ainsi une nouvelle population de départ qui fera l'objet d'un nouveau cycle de sélection. Cette méthode permet de limiter la perte de variabilité génétique au cours du processus de sélection. Elle permet aussi de résoudre le problème de la dispersion des caractères intéressants dans un matériel local amélioré (Vaksmann et al, 2008).

Figure 5 : Sélection généalogique du sorgho.



Source : Chibas Haïti.

Figure 6 : Sélection récurrente du sorgho.



Source : Chibas, Haïti.

1.10- La variété Papèsèk

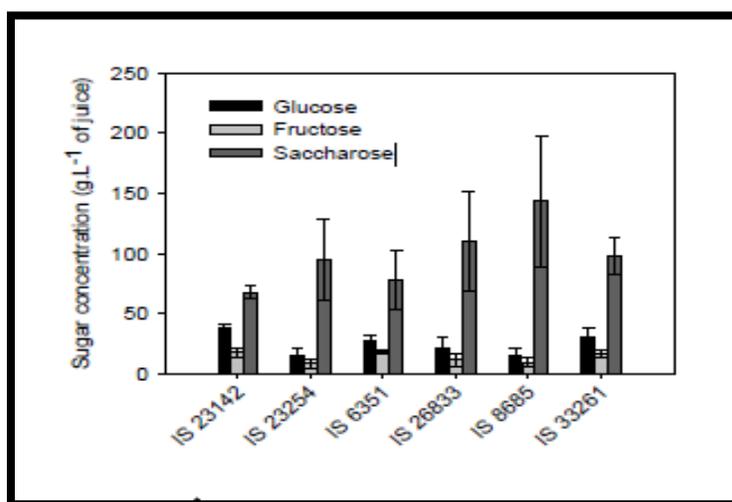
La variété Papèsèk, dérivée de la variété de Sureño (ou Centa S3) est un sorgho sucré à double usages issue du programme collaboratif Intormil (financé par l'USAID) impliquant l'université de Zamorano, le Centa et Texas A&M. Les agriculteurs haïtiens ignoraient son caractère sucré jusqu'aux travaux de Chibas en 2012 (Leclerc et al, 2014). C'est une variété non photopériodique, de hauteur moyenne, qui est généralement cultivée pour son grain et son fourrage. Elle a un rendement grain très intéressant (>4 tonnes par hectare) qui peut aller jusqu'à 5,5 tonnes par hectare en conditions optimales (densité de 57,000 plantes par ha), d'ailleurs c'est la raison pour laquelle elle a été choisie comme témoin pour cette étude. Par contre elle a un brix inférieur à 16 à la maturité des grains, ce qui ne l'avantage pas sur le plan industriel pour la

production de clairin et de sirop. C'est également une variété « staygreen » qui supporte très bien la sécheresse (Chibas, 2012).

1.11- La composition glucidique de la tige de sorgho sucré

La spécificité du sorgho sucré est le sucre. Le mécanisme d'accumulation de sucre chez le sorgho est un phénomène complexe qui semblerait être influencé par les interactions Génotypes x Environnement (Gutjhar, 2012). La quantité de sucre qu'on peut trouver au niveau de la tige du sorgho sucré n'est pas constante, elle varie avec les variétés, le photopériodisme et le stade phénologique de la plante (Yang et al, 2013 ; Murray et al, 2009). Les différents glucides de la tige du sorgho sont le glucose, le fructose et le saccharose. Leur accumulation dans la tige commence avant la floraison ; à ce stade le fructose et le glucose sont plus abondants que le saccharose. Elle atteint son pic au moment de la floraison pour diminuer juste après (Gutjhar et al, 2013). La quantité de sucre trouvée au niveau de la tige du sorgho à maturité n'est pas différente de celle trouvée au moment de la floraison (Gutjhar, 2012). Le brix, qui est la teneur en sucre soluble du jus de sorgho est une mesure qui se fait immédiatement après le moulinage des tiges avec un réfractomètre. Il est positivement corrélé avec la hauteur de la plante (Murray et al, 2009 ; Nebie et al, 2013).

Figure 7 : Concentration en sucre de six variétés de sorgho à maturité des grains.



Source : Gutjhar et al, 2013.

1.12- L'idéotype de sorgho recherché

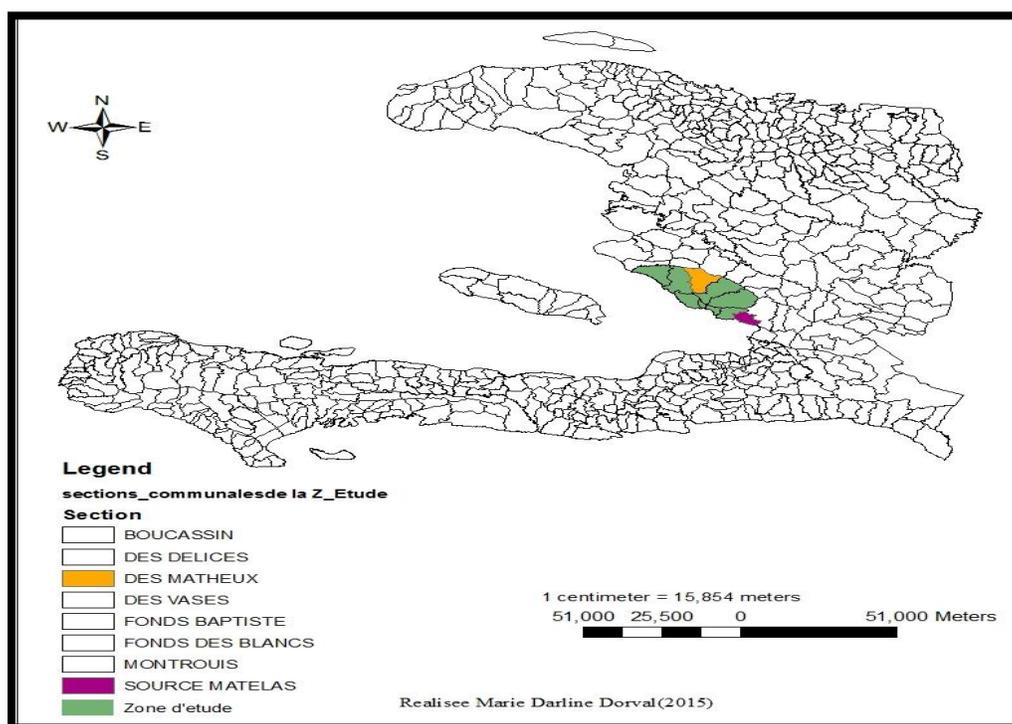
Le Chibas a déterminé que la variété la plus profitable serait une variété qui maximise comme Papèsèk le rendement grain. Elle serait tolérante à la sécheresse avec une grande stabilité de rendement même en conditions abiotiques et de stress sévère. Elle aurait de belles tiges juteuses, un brix stable supérieur à 16 (voir 17-19) à la maturité des grains. Une telle variété serait vraiment une variété à multiples usages. Cependant cette variété semble être difficile à créer, car selon des études réalisées par (Nebie et al, 2013 ; Makanda et al, 2011), il existerait une corrélation négative entre le rendement grain et la teneur en sucre du sorgho ; c'est-à-dire en maximisant le rendement grain, nous diminuons la teneur en sucres solubles de la tige. Parallèlement cette corrélation semble peu évidente quand nous nous référons à l'étude réalisée par Gutjhar (2012), nous montrant qu'une possible compétition pour le sucre entre la tige et la panicule est très faible chez le sorgho. Donc en nous référant à ces trois études nous nous sommes demandé si cette corrélation était vraiment stricte et s'il n'existerait pas une possibilité de créer une variété juteuse et sucrée maximisant le rendement grain.

II- Méthodologie

2.1- Site expérimental

Cette étude a été réalisée conjointement sur 2 sites différents : Prince, qui est une localité de la commune de Cabaret ; Matheux, qui est une localité de la commune de l'arcahaie. Ces 2 communes se situent dans le département de l'Ouest à environ 35 km de la ville de Port-au-Prince. Elles constituent une plaine côtière de 20 km de long sur 5 km de large, et sont comprises entre 72°41 et 72°51 de longitude Ouest ; 18°74 et 18°76 de latitude Nord⁵. Leur pluviométrie moyenne annuelle varie entre 900 et 1000 mm avec 2 périodes pluvieuses : Avril – Août ; Août-Novembre (Chibas, 2012). Leurs températures moyennes annuelles se situent aux environs de 27°C.

Figure 8 : Carte de la zone d'étude.



2.2- Matériel végétal

Cette étude a été conduite sur 285 familles de sorghos sucrés : 125 familles F3 et 160 familles S2 issues du programme de sélection variétale du Chibas. La variété Papèsèk a été utilisée comme témoin, car c'était la variété à surpasser tant sur le plan du rendement grain que du brix.

⁵ <http://haiti-reference.com/pages/plan/geographie-et-tourisme>

2.3- Matériels de travail

Pour réaliser des mesures sur les caractères végétatives du sorgho sucré, divers matériels ont été utilisés dont :

- **Un PVC 1120 gradué en m** de marque DURALON 3/4: pour mesurer la hauteur des tiges.
- **Une machette** : pour couper les tiges et les panicules. Elle a aussi servi pour nettoyer les tiges avant la pesée.
- **Des balances** (Brecknell) : pour prendre le poids des tiges, des panicules et du jus.
- **Un moulin à moteur** (Atlas JP 200) : pour mouliner les tiges de sorgho sucré afin d'en extraire le jus.
- **Des pots gradués**: pour mesurer le volume et le poids du jus de sorgho mouliné.
- **Un pied à coulisse** de marque Neiko Tools USA : pour mesurer le diamètre au sommet et au collet des tiges.
- **Un réfractomètre** (ATAGO): pour mesurer le brix du jus de sorgho.
- **Une pipette** : pour déposer des gouttes de jus de sorgho sur la lame du réfractomètre.
- **Des sacs, un prélat** : pour le comptage des panicules récoltées.
- **Des feuilles d'Excel** : pour noter les résultats des mesures prises.
- **Une caméra numérique** : pour prendre des photos.
- **Des plumes, des fiches, et des élastiques.**

2.4- Description du dispositif expérimental

Pour la réalisation de ce travail, nous avons mis en place un dispositif expérimental en bloc complet randomisé (DBCA). Nous avons eu 3 blocs : 2 à Prince qui est une localité de la commune de Cabaret et un autre à Matheux qui est une localité de la commune de l'Archaie. Chaque bloc a été divisé en 2 sous blocs séparées par 2 billons vides : dans la première partie 125 familles F3 avaient été plantées avec la variété Papèsèk comme témoin, dans l'autre partie nous avons eu 160 familles S2, toujours avec Papèsèk comme témoin, ce qui nous donne 285 familles au total par bloc. Les blocs de Prince ont été divisés en 9 rangées avec une distance de 0.5 m entre les rangées, celui de Matheux en 11 rangées toujours avec la même distance entre les rangées. Sur les rangées nous avons eu des billons d'une largeur de 3 m et d'une longueur de 0.7 m. Chaque 3 billons représentaient une parcelle variétale sauf pour les bordures qui n'avaient

qu'un billon de Papèsèk. Sur chaque billon nous avons eu 12 à 13 poquets contenant chacun une plante, ce qui nous donne environ 36 plantes par famille. La distance entre poquets était de 0.25 m La parcelle des Matheux a été établie sur une superficie de 2713.2 m² (71.4 m de long et 38 m de large), soit 0.27 hectare. Les deux blocs de la localité de Prince ont été établis sur une surface de 5425 m² (175 m de long et 31 m de large), soit 0.54 hectares. Cette expérience a été réalisée sans apport d'engrais, avec une densité de plantation de 57744 plantes/ha.

2.5- Travaux réalisés au champ

Les travaux de préparation de sol, mise en place de la plantation et les entretiens des premières semaines (resemis, sarclage, arrosage, repiquage, dégarnissage, buttage) ont été réalisés par l'équipe de terrain du Chibas. La plantation de Prince a été mise en place le 07 avril 2015, celle de Matheux le 09 avril 2015, soit 2 jours plus tard. Des séances d'aspersion avec le sévin ont été faites pour combattre les chenilles qui attaquaient les jeunes plantes pendant leur croissance.

Photo 1 : Plantation et séance d'arrosage du champ.



2.6- Méthodes

2.6.1- Les caractères évalués :

Pour pouvoir atteindre nos objectifs, les paramètres suivants ont été évalués :

- L'épiaison et la floraison.
- La précocité.
- Le nombre de tiges par ligne.

- Le rendement grain.
- Le nombre total de feuilles et le nombre total de feuilles vertes.
- Le diamètre au collet et au sommet des tiges.
- Le nombre et le poids des panicules remplis.
- La hauteur des tiges.
- Le poids des tiges avec et sans feuille.
- Le poids des feuilles.
- La teneur en sucre (brix) des plantes durant 3 dates (0, 14, 28 jours après maturité des grains).
- La jutosité des tiges (volume et poids du jus).

2.6.2 – Evaluation de l'épiaison

A partir du 11 juin 2015, nous avons commencé à noter la date d'épiaison pour les 2 blocs de Prince. L'épiaison est la formation de l'épi dans le chaume et sa sortie hors de la gaine. L'épiaison de chaque parcelle variétale a été observée et la date d'épiaison a été notée lorsque nous avons estimé que la moitié de la panicule est apparente sur 50% des plantes de la parcelle variétale. Puis les plantes ont été ensachées afin d'éviter des croisements non contrôlés au niveau du champ, des attaques d'oiseaux et d'insectes.

Photo 2 : Epiaison des panicules.



2.6.3- Détermination du diamètre au collet et au sommet des tiges

Le diamètre est l'accroissement en épaisseur de la plante. Nous avons attendu que la parcelle soit à épiaison à 80 %. À l'aide d'un pied à coulisse nous avons mesuré ces deux diamètres en

plaçant exactement le pied à coulisse à la base de la tige pour la mesure du diamètre au collet, pour le diamètre au sommet nous avons placé le pied à coulisse exactement après la dernière feuille. Sur une parcelle variétale nous avons mesuré 5 plantes par billon, ce qui nous donne 15 plantes par parcelle, puis nous avons fait la moyenne de la parcelle afin d'avoir le diamètre de la famille concernée.

Photo 3 : Mesure du diamètre au sommet et au collet des plantes.



2.6.4- Evaluation de la floraison

Le sorgho est une plante à pollinisation croisée ayant un taux d'allogamie très faible soit de 6% (Cirad et Gret, 2006). Une fois que la panicule se dégage, la floraison débute à partir du sommet de la panicule pour s'achever à sa base. L'épillet, prêt à fleurir, voit ses glumes s'ouvrir pour que les stigmates et les anthères puissent se dégager. D'une manière générale, ce sont les épillets de la partie supérieure de la panicule qui libèrent en premier le pollen.

L'évaluation de la floraison a été faite de la même manière que celle de l'épiaison. La date a été notée une fois que 50% de la parcelle variétale aient été au stade de floraison.

- Les dates d'épiaison et de floraison ont permis de différencier les plantes précoces des tardives.

Photo 4 : Phase de floraison de la plante.



2.6.5- Détermination de la hauteur des tiges

La hauteur est l'accroissement en longueur de la plante. Cette mesure a été prise à l'aide de deux PVC gradués (3 et 2.50 m de long). Nous avons pris la hauteur de plantes pour la famille en question, en raison de 3 plantes par billon (9 plantes par parcelle), puis la moyenne a été faite pour la parcelle variétale.

Photo 5 : Mesure de la hauteur des plantes.



2.6.6- Evaluation de la maturité de la plante

Le grain du sorgho commence son remplissage (accumulation de réserves) sitôt que la pollinisation s'achève. Il passe par les stades laiteux puis pâteux avant d'arriver à maturité

physiologique. La maturité est caractérisée par l'apparition d'un point noir à sa base dans la région du hile. Pour noter la date de maturité, nous avons attendu que 80% de la parcelle soient à maturité. Nous avons vérifié la dureté des grains et l'apparition du point noir au niveau du hile.

NB : La plante doit être récoltée une fois qu'elle ait atteint sa maturité.

Photo 6 : Evaluation de la maturité des plantes.



2.6.7- Détermination du rendement grain

Une fois les panicules mures, nous les avons récoltées pour chaque parcelle variétale de manière séparée. Une machette a été utilisée pour couper les panicules, qui ont ensuite été mises dans un sac, accompagnées d'une fiche portant le numéro de la parcelle. Dans un espace libre près du champ, le sac a été vidé sur un prélat étalé sur le sol et le compte des panicules (remplies et vides) a été fait. Une balance a été utilisée pour prendre le poids des panicules remplies. Avec le poids des panicules remplies nous avons fait une extrapolation pour connaître le poids des panicules récoltées au total en supposant qu'elles étaient toutes pleines. Puisque le poids des grains équivaut à 85 % du poids des panicules (Charles, 2013), cette formule a été utilisée pour connaître le rendement grain des familles

$$\text{Rendement grain} = \text{Poids des panicules récoltées au total} \times 0.85.$$

Photo 7 : Récolte et mesure du poids des panicules.



2.6.8- Détermination du poids des tiges avec et sans feuille

Pour la première mesure, nous avons utilisé la ligne du milieu car nous devrions mesurer le brix pendant 3 dates, or la parcelle variétale est formée de 3 billons. A l'aide d'une machette nous avons coupé les tiges, puis nous avons pris leur poids avec une balance après les avoir comptées. Le nombre de feuilles totales et le nombre de feuilles vertes ont été contrôlés sur les tiges. Ensuite nous les avons nettoyées pour enlever les feuilles avant de prendre leur poids à nouveau. La différence entre le poids des tiges avec feuilles et le poids des tiges sans feuilles nous a donné le poids des feuilles.

Photo 8 : Mesure du poids des tiges avec et sans feuilles.



2.6.9- Détermination de la jutosité des tiges

Après avoir nettoyé les tiges, nous les avons broyées dans un moulin à moteur et le jus a été récupéré dans un pot gradué. La lecture du volume du jus a été faite sur le pot gradué et celle du poids sur la balance.

Photo 9 : Moulinage, mesure du poids et du volume de jus.



2.6.10- Détermination du niveau de brix

A l'aide d'une pipette nous avons prélevé des gouttes de jus dans le pot pour les déposer sur la lame du réfractomètre afin de lire le niveau du brix dans l'oculaire. Pour une plus grande précision il est recommandé de réaliser cette mesure 3 fois avant de la noter. La mesure du brix a été faite pendant 3 dates : 0, 14, 28 jours après maturité des grains.

Photo 10 : Mesure du brix.



2.6.11- Critères de présélection :

- Avant de choisir les meilleures familles, nous avons d'abord procédé à une présélection au cours de laquelle certaines familles ont été éliminées en fonction de :
 - La précocité : nous avons tenu compte des dates d'épiaison et de floraison, et les plantes tardives ont été éliminées.

- La hauteur : nous avons sélectionné les plantes qui ont une hauteur moyenne (environ 2m40) car les plantes trop hautes sont sensibles à la verse et ont du mal à supporter le poids de trop grosses panicules.
- Le rendement grain : les familles avec un rendement grain faible même si elles ont un brix supérieur à 16 à la maturité n'ont pas été sélectionnées, car le rendement grain n'était pas le seul critère de sélection.
- Le brix à maturité : les familles avec un brix inférieur à 16 à la maturité ont été éliminées et n'ont pas fait l'objet de la deuxième et troisième mesure du brix.
- Au cours de cette présélection, 95 familles F3 et 78 familles S2 ont été éliminées. Sur les familles non éliminées, nous avons mesuré le brix 14^e et 28^e jours après la maturité des grains.

2.6.12- Analyse statistique

Pour mieux apprécier les résultats, le logiciel R et Microsoft Excel ont été utilisés pour faire des tests sur les données collectées. Sur R nous avons utilisé le carré moyen de type I (facteurs hiérarchiques) et la probabilité de 0.05 pour effectuer l'analyse de variance afin de comparer les différentes familles et la variété Papèsèk pour le rendement grain et le brix à maturité. Cette analyse avait pour objectif de démontrer l'existence ou pas d'une différence significative entre les traitements pour les différents caractères qui ont été évalués et à quel niveau se trouvait cette différence. Quand l'hypothèse alternative s'avérait positive, une analyse 2 à 2 a été faite pour voir où se situait la différence. Sur Excel nous avons utilisé le test de régression pour vérifier l'existence ou pas d'une relation entre le rendement grain et le brix chez le sorgho.

III- Résultats

❖ Première Partie

Nous allons d'abord présenter les résultats des différentes familles et de la variété Papèsèk pour le rendement grain, le brix à maturité et les résultats de la corrélation entre le brix et le rendement grain, puis les résultats pour l'évolution du brix dans le temps.

3.1- Le rendement grain des familles F3 et de la variété Papèsèk.

Modèle: Rendement ~ rep + traitement+ Famille, data = donnees

- **H0** : Il n'y a pas de différence entre les traitements pour le rendement grain.
- **H1** : Il y a une différence entre les traitements pour le rendement grain.

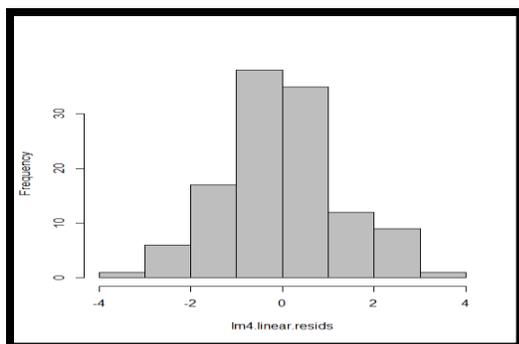
Tableau 3: ANOVA. Le rendement grain des familles F3 et de la variété Papèsèk.

SV	DL	SCE	CME	Test F	Pr(>F)	Significativité
rep	2	20.24	10.12	5.37	0.01	**
traitement	2	0.67	0.34	0.18	0.84	
Familles	15	50.7	3.38	1.79	0.05	.
Résiduelles	99	186.62	1.89			

Le **Tableau 3** d'analyse de variance présente les différents facteurs qui influencent le rendement grain. Nous pouvons voir que le facteur traitement n'est pas significatif car la valeur de P (0.84) est supérieure à 0.05. Donc nous ne rejetons pas notre hypothèse nulle : Il n'y a pas de différence entre les traitements pour le rendement grain.

❖ Les traitements sont : familles F3 sélectionnées, F3 aléatoires et la variété Papèsèk.

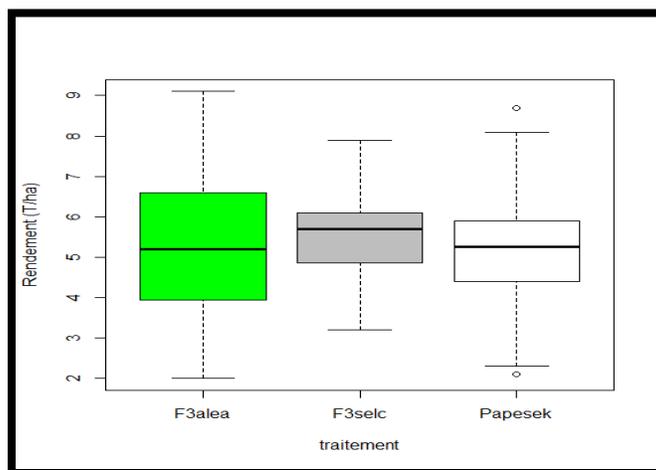
Figure 9 : Histogramme des résiduels du rendement grain des familles F3 et de Papèsèk.



Test de Shapiro-Wilk
W =0.9836, p-value = 0.3722

Sur la **Figure 9** nous pouvons voir que le graphe a la configuration d'une cloche et d'après le test de la normalité des données (test de Shapiro-Wilk) la valeur de P est supérieure à 0.05, donc nous ne rejetons pas l'hypothèse de la normalité des données.

Figure 10 : Boîte à moustaches pour le rendement grain des familles F3 et de la variété Papèsèk.



Sur la **Figure 10** nous pouvons voir que les familles F3 sélectionnées ont un rendement grain largement supérieur à 4 tonnes par hectare. Cependant il n'y a pas de différence significative pour le rendement grain entre les familles F3 sélectionnées, F3 choisies de manière aléatoire et la variété Papèsèk.

3.2- Le brix à maturité des familles F3 et de la variété Papèsèk

- Le brix à maturité étant le deuxième critère fondamental pour la sélection des familles, nous l'avons mesuré pendant la coupe des panicules afin d'éviter des mesures erronées.

Modèle: (Brix ~ rep + traitement + Familles, data = donnees)

- H0** : Il n'y a pas de différence entre les traitements pour le brix à maturité.
- H1** : Il y a une différence entre les traitements pour le brix à maturité.

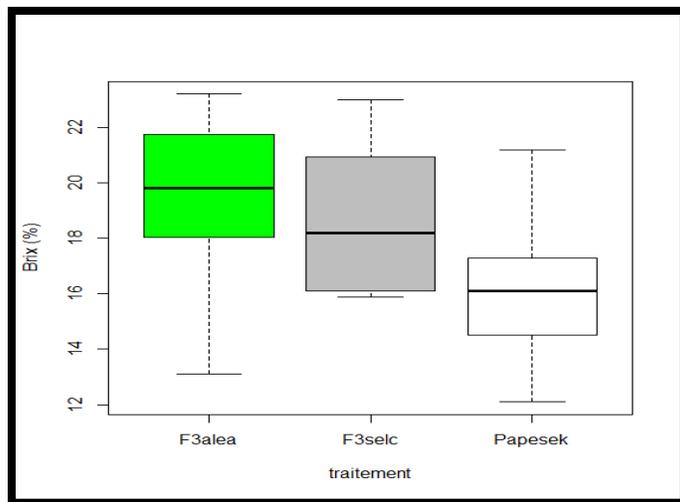
Tableau 4 : ANOVA. Le brix à maturité des familles F3 et de la variété Papèsèk.

SV	DL	SCE	CME	Test F	Pr(>F)	Significativité
rep	2	125.2	62.58	16.03	9.35E-07	***
traitement	2	289.6	144.81	37.08	9.56E-13	***
Familles	15	187.9	12.53	3.21	0.000253	***
Résiduelles	99	386.6	3.91			

Le **Tableau 4** présente la variation du brix en fonction des répétitions (blocs), des traitements et des familles. Le facteur traitement étant très significatif ($P < 0.05$), nous rejetons notre hypothèse nulle et nous acceptons notre hypothèse alternative : Il y a une différence entre les traitements pour le brix à maturité.

❖ Les traitements sont : familles F3 sélectionnées, F3 aléatoires et la variété Papèsèk.

Figure 11 : Boîte à moustaches pour le brix à maturité des familles F3 et Papèsèk.



Sur la **Figure 11** nous pouvons voir que les familles F3 sélectionnées sont nettement supérieures à 16 pour le brix à maturité malgré qu'elles soient inférieures aux familles qui représentent le reste de la population. Nous pouvons aussi constater que toutes les familles F3 ont surpassé la variété Papèsèk pour le brix à maturité.

Tableau 5 : Analyse 2 à 2 des familles F3 et de la variété Papèsèk en fonction du brix.

	F3 sélectionnés	F3 aléatoires	Papèsèk
F3 sélectionnés			
F3 aléatoires	NS		
Papèsèk	*** F3 selc > Papèsèk -2.9028 brix	*** F3 aléa > Papèsèk -2.6863 brix	

Le **Tableau 5** nous montre que les F3 sélectionnées x Papèsèk, F3 aléatoires x Papèsèk sont significatifs pour le brix à maturité. Les familles F3 sont largement supérieures à la variété Papèsèk, tandis que la différence entre les familles F3 sélectionnées et celles choisies de manière aléatoire n'est pas significative.

3.3- Le rendement grain des familles S2

Modèle: (Rendement~ rep + traitement + Familles, data = donnees)

- **H0:** Il n'y a pas de différence entre les familles S2 et la variété Papèsèk pour le rendement grain.
- **H1:** Il y a une différence entre les familles S2 et la variété Papèsèk pour le rendement grain.

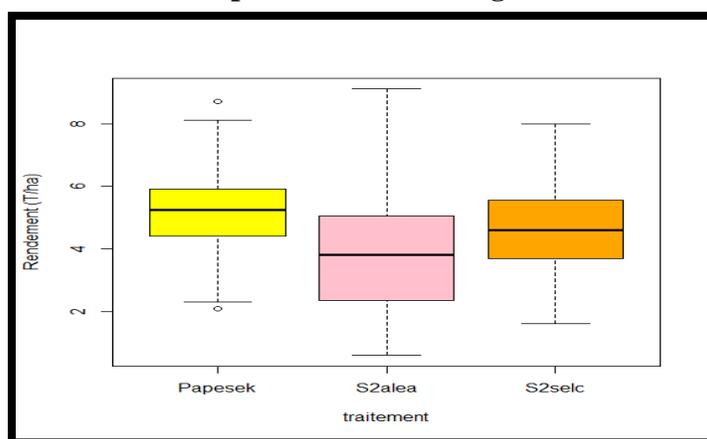
Tableau 6 : ANOVA. Le rendement grain des familles S2 et de la variété Papèsèk.

SV	DL	SCE	CME	Test F	Pr(>F)	Significativité
rep	2	70.55	35.28	17.11	2.59E-07	***
traitement	2	38.89	19.45	9.43	1.51E-04	***
Familles	29	36.58	1.26	0.61	0.937526	
Résiduelles	128	263.86	2.06			

L'analyse de variance du **Tableau 6** présente les différents facteurs qui influencent le rendement grain des familles S2. Le facteur traitement est significatif car la valeur de *P* est inférieure à 0.05. Dans ce cas nous rejetons notre hypothèse nulle et nous acceptons notre hypothèse alternative : il y a une différence entre les familles S2 et la variété Papèsèk pour le rendement grain.

- ❖ Les traitements sont : familles S2 sélectionnées, S2 aléatoires et la variété Papèsèk.

Figure 12 : Boîte à moustaches pour le rendement grain des familles S2 et Papèsèk.



Sur la **Figure 12** nous pouvons voir que les familles S2 sélectionnées ont quasiment le même rendement grain que la variété Papèsèk et c'est largement supérieur à 4 tonnes par hectare. A noter aussi que leur rendement grain est supérieur à celui des familles S2 choisies de manière aléatoire.

Tableau 7 : Analyse 2 à 2 des familles S2 et de la variété Papèsèk pour le rendement grain.

	S2 sélectionnés	S2 aléatoires	Papèsèk
S2 sélectionné			
S2 aléatoires	* S2 selc > S2 alea -0.067 tonnes		
Papèsèk	NS	** Papèsèk > S2 alea 0.107 tonnes	

Le **Tableau 7** nous montre que les traitements : S2 sélectionnées x S2 choisies de manière aléatoire, S2 aléatoires x Papèsèk sont significatifs pour le rendement grain. Alors que les familles S2 choisies au hasard ont un rendement grain significativement plus faible que celui de Papèsèk, les 18 familles S2 sélectionnées pour générer les familles S3 ont un rendement grain non significativement différent de celui de la variété Papèsèk.

3.4- Le brix à maturité des familles S2 et de la variété Papèsèk

Modèle: (Brix~ rep + traitement + Familles, data = donnees).

- **H0** : Il n'y a pas de différence entre les traitements des familles S2 et de la variété Papèsèk pour le brix.
- **H1** : Il y a une différence entre les traitements des familles S2 et de la variété Papèsèk pour le brix.

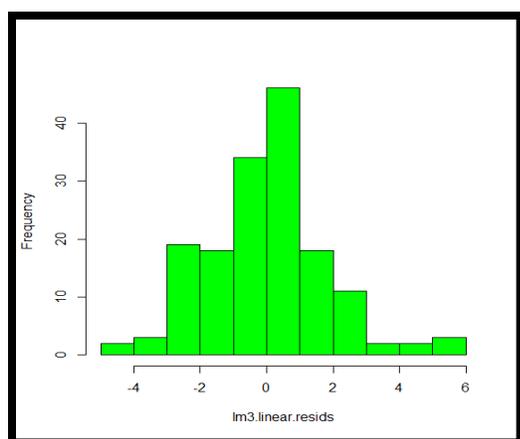
Tableau 8 : ANOVA. Le brix à maturité des familles S2 et de la variété Papèsèk.

SV	DL	SCE	CME	Test F	Pr(>F)	Significativité
rep	2	93.3	46.64	11.54	2.54E-05	***
traitement	2	628.1	314.04	77.70	<2.00E-16	***
Familles	29	151.9	5.24	1.30	0.166	
Résiduelles	124	501.2	4.04			

L'analyse de variance du **Tableau 8** présente une variation du brix en fonction des répétitions (blocs), des traitements et des familles. Nous pouvons voir que le facteur traitement est hautement significatif. Puisque la valeur de P est inférieure au seuil de significativité 0.05 nous rejetons notre hypothèse nulle et nous acceptons notre hypothèse alternative.

❖ Les traitements sont : familles S2 sélectionnées, S2 aléatoires et la variété Papèsèk.

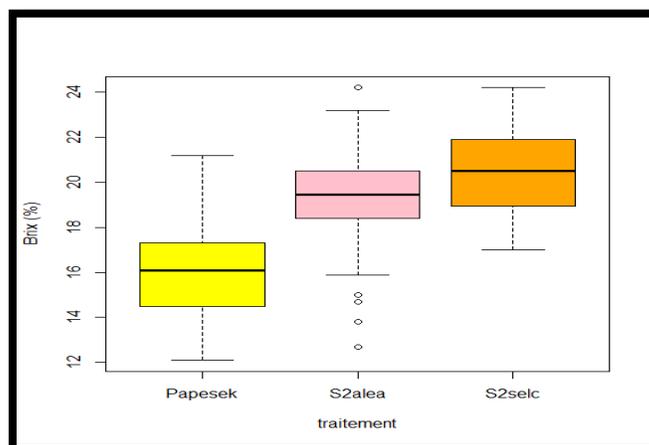
Figure 13 : Histogramme des résiduels du brix à maturité des familles S2 et de Papèsèk.



Test de Shapiro-Wilk
 $W = 0.97646$, $p\text{-value} = 0.03112$

Sur la **Figure 13** nous pouvons voir que le graphe des résiduels n'a pas la forme d'une cloche, de plus dans le test de normalité des données (test de Shapiro-Wilk) la valeur de P est inférieure à 0.05, donc nous rejetons l'hypothèse de la normalité des données. Cependant la valeur de W étant relativement élevée (supérieur à 0.95) nous présentons les résultats de l'analyse de variance. Toutefois il faut prendre les résultats du brix à maturité des familles S2 avec réserve car nous ne sommes pas dans les conditions idéales d'application d'un test paramétrique.

Figure 14 : Boîte à moustaches du brix à maturité des familles S2 et de Papèsèk.



Au niveau de la **Figure 14** nous pouvons constater que les familles S2 sélectionnées ont un brix largement supérieur à 16 à la maturité des grains. Ces dernières ont surpassé la variété Papèsèk et le groupe qui représente la population S2 dans sa totalité.

Tableau 9 : Analyse 2 à 2 des familles S2 et de la variété Papèsèk pour le brix à maturité.

	S2 sélectionnés	S2 aléatoires	Papèsèk
S2 sélectionnés			
S2 aléatoires	** S2 selc > S2alea -0.37 brix		
Papèsèk	*** S2 select > Pap -4.36 brix	*** S2 alea > Pap -3.39 brix	

Le **Tableau 9** nous montre que les traitements : S2 sélectionnées x S2 aléatoires, S2 sélectionnées x Papèsèk, S2 aléatoires x Papèsèk sont significatifs pour le brix à maturité. Bien que la différence soit significative entre les 3 traitements, les familles S2 sélectionnées sont largement supérieures à celles choisies de manière aléatoire et à la variété Papèsèk.

3.5- Comparaison des familles sélectionnées pour le rendement grain et le brix

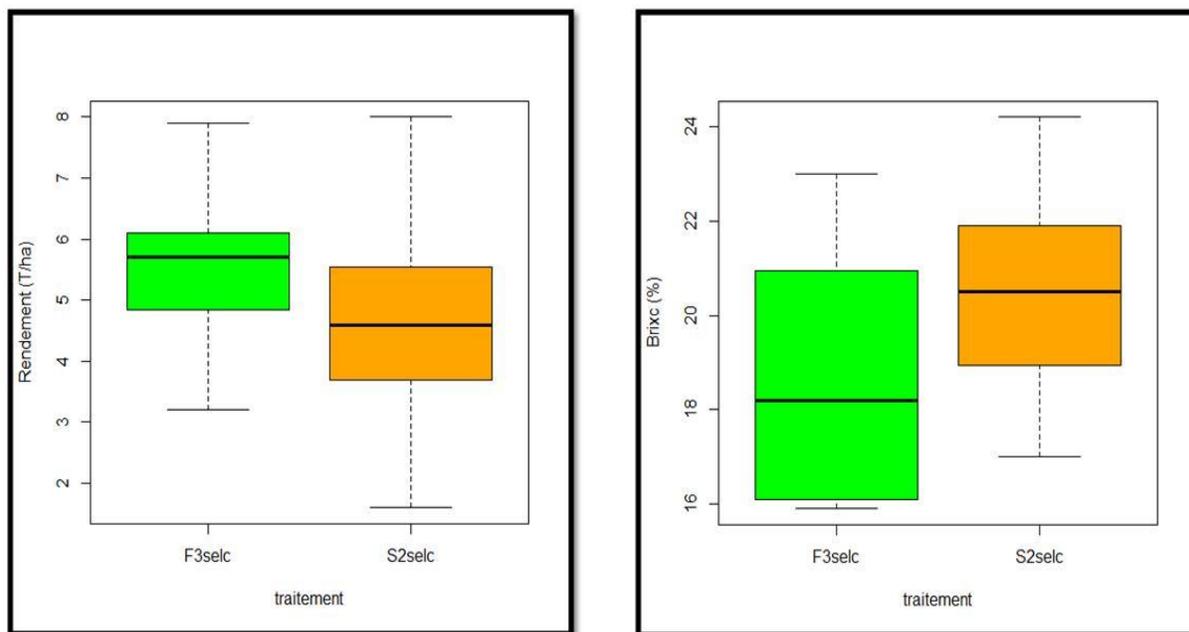
Pour tester l'efficacité des deux populations, nous avons comparé les familles F3 et S2 sélectionnées pour le rendement grain et le brix à maturité.

Tableau 10 : Résumé d'analyse de variance pour les familles F3 et S2 sélectionnées.

F3 sélectionnées Vs S2 sélectionnées		
Caractères	Valeur de P	Significativité
Rendement grain	p-value = 0.03 F3 selc > S2 selc 1.17 tonne / ha	*
Brix à maturité	p-value = 0.001 S2 selc > F3 selc 0.70 brix	**

Dans le **Tableau 10** nous pouvons voir que les familles F3 sélectionnées sont supérieures aux familles S2 pour le rendement grain tandis que pour le brix à maturité des grains ce sont les familles S2 qui sont supérieures aux F3.

Figure 15: Boîtes à moustaches du rendement et du brix à maturité des familles F3 et S2.



3.6- Test de régression pour le rendement grain et le brix des familles F3 et S2

Ce test a pour but de vérifier s'il existe une relation entre le rendement grain et le brix chez les familles F3 et S2 de sorgho sucré.

A- Les familles F3

H0 : Il n'y a pas de relation entre le rendement grain et le brix chez les familles F3.

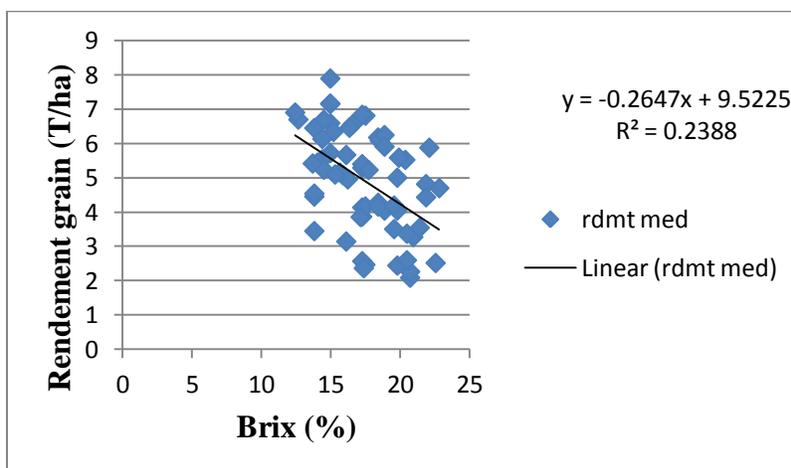
H1 : Il y a une relation entre le rendement grain et le brix chez les familles F3.

Tableau 11 : ANOVA. Test de régression pour le rendement grain et le brix des familles F3.

	DL	SCE	CME	F	Significance F
Regression	1	107.27	107.27	19.13	4.84502E-05
Résiduelles	61	342.02	5.61		
Total	62	449.29			

Dans le **Tableau 11** nous avons les différents facteurs qui influencent le rendement grain. La valeur de P (0.02) étant inférieure à 0.05 nous rejetons notre hypothèse nulle et notre hypothèse alternative est validée, chez les familles F3 le rendement grain varie en fonction du brix.

Figure 16 : Graphique de corrélation pour le rendement grain et le brix des familles F3.



B- Les familles S2

H0 : Il n'y a pas de relation entre le rendement grain et le brix chez les familles S2.

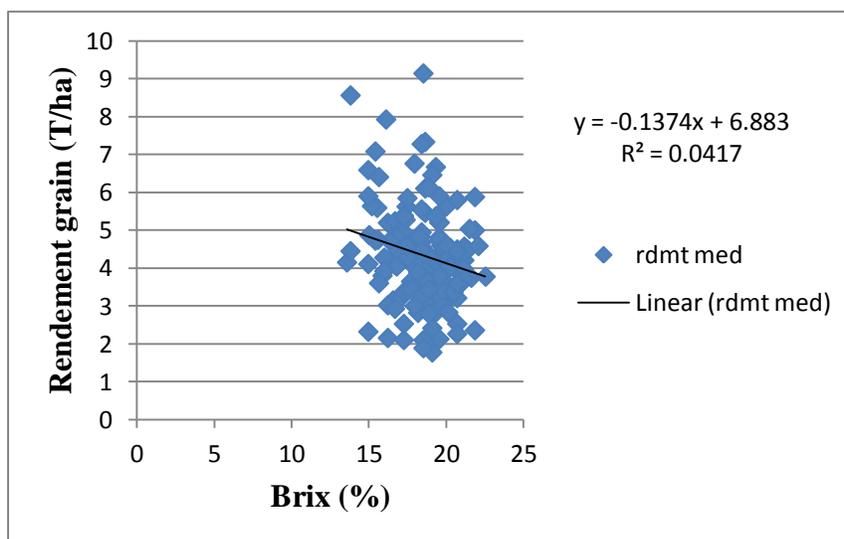
H1 : Il y a une relation entre le rendement grain et le brix chez les familles S2.

Tableau 12 : ANOVA. Test de régression pour le rendement grain et le brix des familles S2.

	DL	SCE	CME	F	Significance F
Regression	1	10.12	10.12	6.71	0.010521638
Résiduelles	154	232.35	1.51		
Total	155	242.47			

Dans le **Tableau 12** nous pouvons voir les différents facteurs qui influencent le rendement. Puisque la valeur de P (0.1) est inférieure à 0.05 nous rejetons notre hypothèse nulle et nous acceptons notre hypothèse alternative. Il y a une relation entre le rendement grain et le brix des familles S2.

Figure 17 : Graphique de corrélation pour le rendement grain et le brix des familles S2



A partir des **Figures 16 et 17** nous pouvons constater que les coefficients de corrélation entre le rendement grain et le brix sont significatifs pour les familles F3 et S2. Ceci signifie que le rendement grain varie en fonction du brix et cette variation est négative pour les 2 groupes de familles.

❖ Deuxième partie

3.7- L'évolution du brix dans le temps

Pour savoir comment évolue le brix avec le temps, nous l'avons mesuré en trois temps pendant un mois (0, 14, 28 jours après maturité des grains).

Modèle : (Brix ~ rep + Jour + Fam, data = donnees)

- **H0** : Il n'y a pas d'augmentation du brix dans le temps.
- **H1** : Il y a une augmentation du brix dans le temps.

Tableau 13 : ANOVA : Augmentation temporelle du brix.

SV	DL	SCE	CME	Test F	Pr(>F)	Significativité
rep	2	604.7	302.34	78.16	<2e-16	***
Jour	2	16.4	8.22	2.12	0.121	
Familles	48	1856.6	38.68	9.99	<2e-16	***
Résiduelles	553	2139.1	3.87			

Dans le **Tableau 13** d'analyse de variance nous avons les principaux facteurs qui influencent le brix avec leur degré de significativité. Le facteur jour n'étant pas significatif ($P = 0.121$), nous ne rejetons pas notre hypothèse nulle : le brix n'évolue pas avec le temps.

Figure 18 : Evolution temporelle du brix de Papèsèk et des familles F3 sélectionnées.

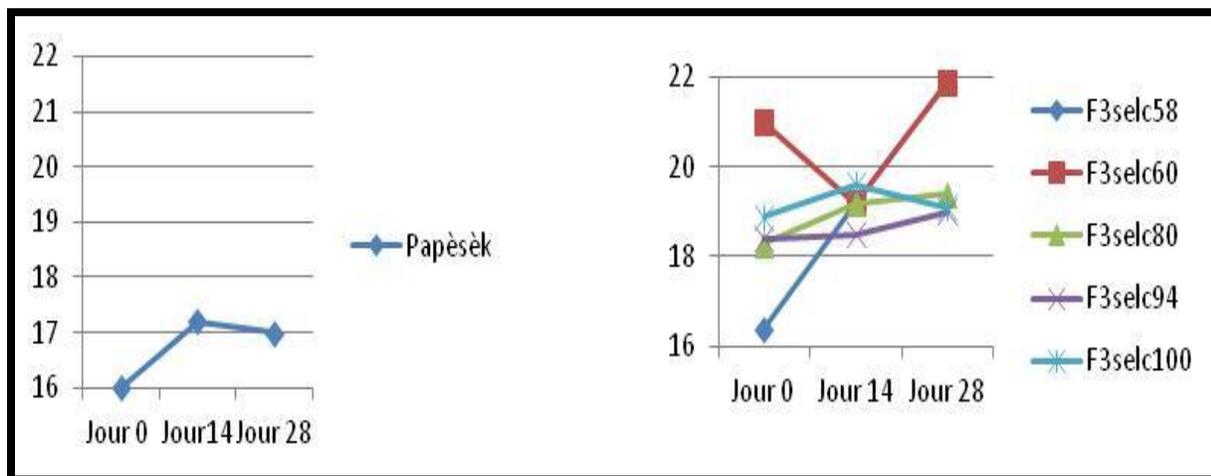
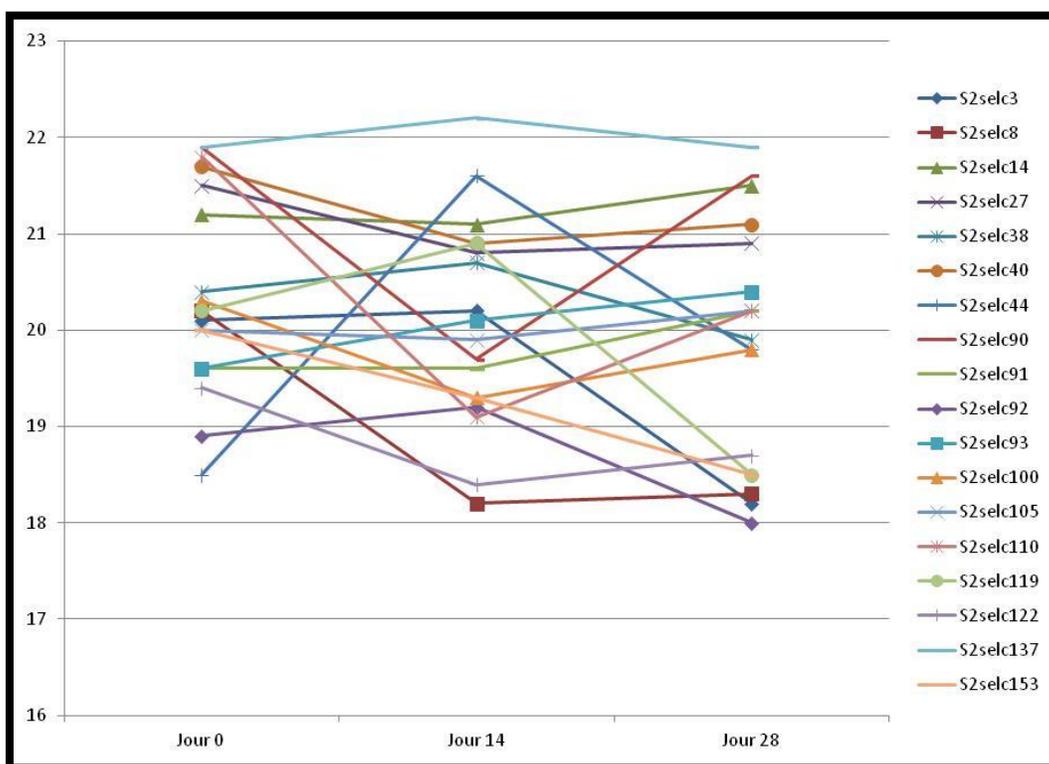


Figure 19 : Evolution temporelle du brix des familles S2 sélectionnées.



Les Figures 19 et 18 nous montrent que le brix n'a pas évolué dans le temps pour les familles sélectionnées. La tendance du brix est plus ou moins stable pour les 23 familles sélectionnées contrairement à la variété Papèsèk qui augmente le 14^e jour pour diminuer le 28^e jour.

IV- Discussion

A partir des résultats obtenus pour le rendement grain, les analyses de variance nous ont montré que la différence est significative entre les blocs, ceci signifie que l'hétérogénéité des sols a eu une influence sur le rendement grain. Nous avons constaté que les familles F3 (5.5 tonnes par hectare en moyenne) ont un niveau de rendement grain très élevé qui « dépasse » celui de la variété Papèsèk (4.7 tonnes par hectare en moyenne), bien que la différence ne soit pas significative pour ce critère. Il faut dire aussi qu'elles avaient déjà été évaluées et sélectionnées en F2 pour le rendement grain. Les familles F3 ont aussi un niveau de brix très appréciable, soit 19.1 % en moyenne. Nous avons quand même progressé pour ce critère même s'il n'y a pas de différence entre les familles sélectionnées et le reste de la population, car elles sont largement supérieures à Papèsèk (brix à maturité =16%). Toutefois seulement 5 familles F3 ont été sélectionnées sur l'ensemble des critères de sélection retenus.

Les familles S2 contrairement aux familles F3 sont moins bonnes que la variété Papèsèk pour le rendement grain. Les familles S2 sélectionnées et celles choisies de manière aléatoire ont un rendement grain (4.3 tonnes par hectare en moyenne) inférieur à celui de la variété Papèsèk (4.7 tonnes par hectare en moyenne). Par contre pour le brix à maturité, nous avons progressé avec les familles S2 : 20.1% en moyenne pour les familles sélectionnées contre 19.9% pour les familles choisies de manière aléatoire et la variété Papèsèk (16% en moyenne). Néanmoins nous avons pu sélectionner plus de familles au niveau de la population S2, 18 au total. La meilleure famille S2 sélectionnée a un rendement de 5.5 tonnes par hectare, supérieur au rendement moyen de Papèsèk. 7 familles S2 sélectionnées parmi les 18 ont un rendement grain supérieur à celui de Papèsèk.

Les 5 familles F3 sélectionnées représentent seulement 4% de la population globale. Ce faible pourcentage s'explique par le fait que la majorité des familles F3, étant trop tardives et trop hautes ont été éliminées dès la présélection ; les familles trop hautes ont été contre-sélectionnées du fait du risque de verse pour des variétés avec un rendement grain élevé. Le nombre des familles S2 sélectionnées représente 11.25% de la population totale, ce chiffre est nettement supérieur à celui des familles F3 car les familles S2 sont beaucoup plus précoces et moins hautes que les familles F3 (présélection en S1 et dans les cycles précédents de sélection récurrente).

En ce qui concerne l'évolution du brix, les résultats de l'analyse de variance nous ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les 3 mesures prises sur une durée d'un mois.

Le niveau de brix est stable sur les 30 jours après maturité pour les F3 et S2 sélectionnées. Par contre le niveau de brix de la variété Papèsèk a augmenté entre la maturité et le 14^e jour pour se stabiliser après, reflétant ainsi l'étude réalisée par Chibas (2012) qui avait montré qu'il a tendance à augmenter avec le temps (voir Figure 20 en annexe).

Les résultats du test de régression entre le rendement grain et le brix confirment ceux des études réalisées par Nebie et al (2013) ; Makanda et al (2011) qui avaient démontré qu'il existait une corrélation négative entre le rendement grain et le brix chez le sorgho sucré mettant ainsi en doute la possibilité de créer des variétés sucrées et juteuses maximisant le rendement grain. Ceci signifierait que la variabilité du rendement grain dépend effectivement du brix. Néanmoins tenant compte de la sélection des 23 familles ayant des tiges sucrées et juteuses et un rendement grain supérieur à 4 tonnes par hectare nous pouvons dire comme Gutjhar (2012) que cette corrélation n'est pas aussi stricte que le prétendent Nebie et al (2013) ; Makanda et al (2011).

Du fait que la corrélation négative qui existe entre le rendement grain et le brix chez le sorgho est beaucoup plus significative chez les familles F3 que chez les S2 nous pouvons dire comme Vaksmann et al (2008) que la sélection récurrente permet de résoudre le problème de la dispersion des caractères intéressants dans un matériel local amélioré car nous pouvons constater à partir des figures 16 et 17 que la variabilité du rendement grain dépend à 23.88% du brix chez les familles F3 tandis que chez les S2 il dépend seulement à 4.17%.

Nos résultats prouvent qu'il est possible d'obtenir des variétés avec des tiges sucrées et juteuses ayant de haut rendement grain. Nous pouvons confirmer comme l'étude réalisée par Gutjhar (2012) que plus de sucre au niveau de la tige ne signifie pas nécessairement moins de grains au niveau des panicules. Si l'alimentation en eau et nutritionnelle des plantes est assurée on peut sélectionner des variétés maximisant le rendement grain tout en produisant des tiges juteuses et très sucrées.

Conclusion

L'objectif de ce cette étude était de sélectionner les meilleures familles F3 et S2 de sorgho sucré issues du programme de sélection variétale du Chibas pour la création de nouvelles variétés. Les performances agronomiques de cette plante devraient être améliorées sur le plan de rendement grain et du brix à maturité. Pour cela les plantes ont été évaluées en fonction des paramètres de croissance, de rendement, et du brix. Nous avons d'abord comparé les plantes sélectionnées entre elles, avec les plantes choisies de manière aléatoire, ensuite et la variété Papèsèk. Les analyses faites à partir des données collectées ont montré que les familles sélectionnées sont supérieures aux familles qui ont été choisies de manière aléatoire (moyenne de la population) pour le rendement grain et le brix à maturité. Elles ont aussi égalé et même surpassé la variété Papèsèk, qui était la variété témoin.

Les résultats obtenus nous permettent de dire que la méthode de sélection utilisée a été efficace car nous avons pu trouver 5 familles F3 sur 125 et 18 familles S2 sur 150 qui ont répondu à nos critères de sélection. Le pourcentage est faible car les plantes ont été évaluées sur plusieurs critères. L'essentiel est d'avoir trouvé des familles qui peuvent avoir un rendement grain intéressant (plus de 4 tonnes par hectare) avec un niveau de brix stable et élevé. La stabilité du brix des différentes familles sélectionnées augmente leur potentiel pouvoir d'utilisation dans le milieu industriel.

Un sorgho sucré avec de telles performances agronomiques permettra aux cultivateurs d'augmenter leur profit et d'améliorer leur niveau de vie. D'un autre côté, avec l'augmentation du rendement nous aurons beaucoup plus de sorgho disponible sur le marché, ce qui pourrait diminuer son coût et le rendre plus accessible aux consommateurs.

Etant une sélection variétale, le travail ne va pas s'arrêter là .Nous avons sélectionnées un total de 174 familles F4 et S3 (sélection pied à la ligne – meilleurs individus dans les 23 familles sélectionnées). Ces familles sont en cours d'évaluation dans la localité de Prince à Cabaret. Elles on été plantées en 2 blocs complets avec Dekabès et Papèsèk comme témoin et vont être évaluées selon les même critères que la population F3 et S2 (diamètre des tiges, poids des panicules, hauteur et brix). Nous allons pouvoir mesurer si le travail effectué en F3 et S2 a été effectivement efficace.

Bibliographie

Annaïg L. 2014. Le sorgho sucré, une plante aux multiples valorisations, sources d'innovations en Haïti. Mémoire de fin d'étude, Université de Montpellier. Page 1-15.

Blümmel M., Rao S.S., Palaniswami S., Shah L. et Belum R.V.S. 2009. Evaluation of Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* .Moench) used for Bio-ethanol Production in the Context of Optimizing whole Plant Utilization, Animal nutrition and Feed Technology 9. Page 1-10.

Chantereau J., Arnaud M., Ollitrault P., Nabayaogo P., Noyer J.L. 1989. Etude de la diversité morpho physiologique et classification des sorghos cultivés. *L'Agronomie tropicale*, 44: 223 -232.

Chantereau J. et Nicou R. 1991. Le technicien d'agriculture tropicale. Paris, Maison neuve et Larose.

Charles J. R. 2013. Rendement sucre et grains et performance agronomique de quatre variétés de sorgho sucré en fonction de la gestion de la fertilité des sols. Mémoire de fin d'étude. Université Quisqueya. Page 16-23.

Charrier A., Jacquot M., Hamon S. et Nicolas D. 1997. L'amélioration des plantes tropicales. CIRAD et ORSTOM. ISBN 2-87614-292-9.

Chibas. 2012. Manuel de culture du sorgho en Haïti.

Chibas. 2014. Multipurpose crops Sweet Sorghum 3F –Feed, Food & Fuel.www.chibas-bioenergy.org.

CIRAD et GRET. 2006. Mémento de l'agronome. ISBN : 978-2-7592-0357-4. Editions Quæ. République Française. Page 567-569, 817-821.

CNSA. 2011. La campagne de Printemps 2011 et analyse des marchés et de la sécurité alimentaire. Page 18-19.

Dehayin N. 2007. Utilisation du sorgho en alimentation animale. Thèse vétérinaire, Université Claude- Bernard-Lyon-1. Page 48-50.

Gutjahr S. 2012. Analyse des caractères d'intérêt morphogénétiques et biochimiques pour le développement de sorghos sucrés à double usage « Grain-Bioalcool ». Thèse présentée à l'École Doctorale SIBAGHE dans le cadre du programme de doctorat en Biologie Intégrative des Plantes (BIP) pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Montpellier II.

Gutjahr S., Clément-Vidal A., Soutiras A., Sonderegger N., Braconnier S., Dingkuhn M. et Luquet D. 2013. Grain, sugar and biomass accumulation in photoperiod sensitive sorghums. II. Biochemical processes at internodes level and interaction with phenology. *Functional Plant Biology*, 40, 355–368.

Gutjahr S., Vaksman M., Dingkuhn M., Thera K., Trouche G., Braconnier S. et Luquet D. 2013. Grain, sugar and biomass accumulation in tropical sorghums. I. Trade-offs and effects of phenological plasticity *Functional Plant Biology*, 40: 342-354.

Harlan J.R et De Wet J.M.J. 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science*, 12 : 170- 176.

House L. R. 1987. Manuel pour la sélection du sorgho 2e éd. Patancheru, Inde, ICRISAT.

Hugues P., Feret M., Denoy I. et Teste M. 1967. Les sorghos fourragers. ISSN 0429-2766. Page 107-115.

Leclerc E., Pressoir G. et Braconnier S. 2014. « L’avenir prometteur du sorgho sucré en Haïti », *Field Actions Science Reports*, Special Issue 9.

Makanda I., Derera J., Tongoona P. and Sibiya J. 2011. Development of sorghum for bio-energy: A view from the stakeholders and priorities for breeding dual purpose varieties *African Journal of Agricultural Research* Vol. 6(19), pp. 4477-4486.

MARNDR.2012. Synthèse Nationale des résultats du recensement général de l’agriculture 2008/2009. Page 39-40.

Murray S. C., Rooney W. L., Hamblin M. T., Mitchell S. E. et Kresovich S.2009. Sweet Sorghum Genetic Diversity and Association Mapping for Brix and Height. *The Plant Genome* 2:48–62.

Naoura G, Nebie B., Nanema R. K., Kando P. B., Traore E. R., Sawadogo M. et Zongo J-D. 2014. Caractérisation de quelques écotypes performants de sorghos Burkinabés, *International Journal of Biological and Chemical Science*. 8(5). Page 2109-2118.

Nebie B., Nanema R. K., Kando P. B., Traore E. R., Labeyrie V., Sawadogo N., Sawadogo M. et Zongo J-D. 2013. Variation de caractères agromorphologiques et du Brix d’une collection de sorghos à tige sucrée du Burkina Faso, *International Journal of Biological and Chemical Science* 7(5): 1919-1928.

Ollitrault P., Arnaud M. et Jacques C.1989. Polymorphisme enzymatique des sorghos. 2. Organisation génétique et évolutive des sorghos cultivés. L'Agronomie tropicale, 44 : 211-222.

Saint- Paul A. P. 2013. Valorisation industrielle du Sureño « Papèsèk » pour la production d'alcool, étude de faisabilité du point de vue technique et économique. Mémoire de fin d'étude. Université Quisqueya.

Trouche G. et Chantereau J. Problématiques de sélection du sorgho comme culture multi-usage. UMR Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes. Equipe Génétique et Innovation Variétale.

Vaksmann M., Kouressy M., Chantereau J., Bazile D., Sagnard F., Touré A., Sanogo O., Diawara G. et Danté A. 2008. Utilisation de la diversité génétique des sorghos locaux du Mali, Cahiers Agricultures vol. 17, n° 2 : 140-146, mars-avril.

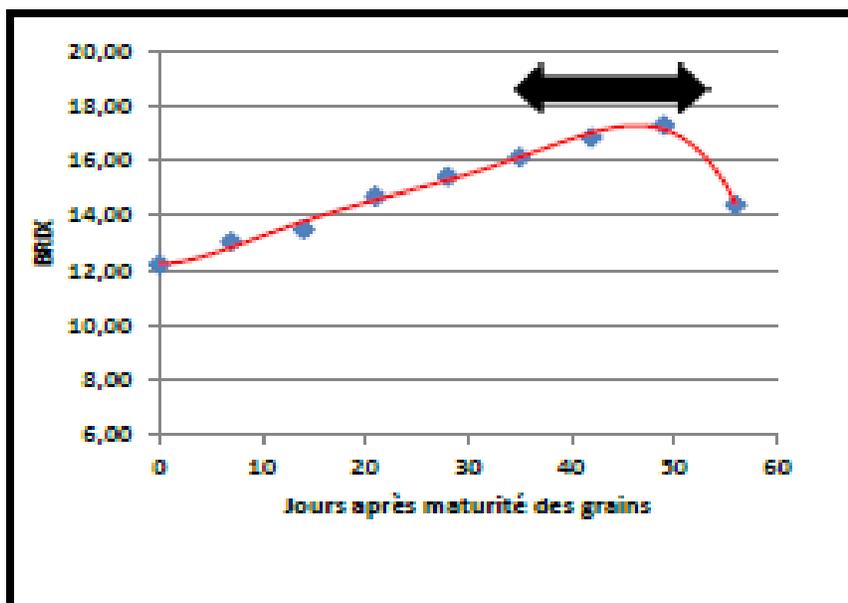
Yang L., Dun B-Q., Zhao X-N., Yue M-Q., Lu M. et Li G-Y. 2013. Correlation analysis between the key enzymes activities and sugar content in sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) stems at physiological maturity stage. Australian Journal of Crop Science 7(1):84-92, ISSN: 1835-2707.

Annexe

Tableau 14 : Les différentes familles utilisées pour les analyses.

Familles/variété	aléatoires	sélectionnées
F3	12 familles: 5, 12, 40, 52, 59, 62, 75, 78, 90, 100, 111, 119.	5 familles: 58, 60, 80, 94, 100.
S2	12 familles: 18, 31, 36, 52, 58, 61, 63, 75, 101, 108, 110, 146.	18 familles: 3, 8, 14, 27, 38, 40, 44, 90, 91, 92, 93, 100, 105, 110, 119, 122, 137, 153.
Papèsèk	36	0
Total	60	23

Figure 20 : Tendence évolutive du brix de la variété Papèsèk.



Source: Chibas, 2012.

Photo 11 : Matériels utilisés.



Les fonctions utilisées sur R :

- `lm1.linear <- lm (Rendement ~ rep + traitement + Famille, data = donnees).`
- `Summary (lm1.linear).`
- `Summary.aov (lm1.linear).`
- `Histogram (lm1.linear.resids)`
- `Shapiro. Test (lm1.linear.resids)`
- `Boxplot (RDTG~ traitement, data = donnees, main = “ ”, xlab = “ ”, ylab = “ ”, col = (c(“gold”, “ green”))).`

Tableau 15 : Valeurs moyennes pour le rendement et le brix à maturité des F3, S2 et de Papèsèk.

	Familles sélectionnées		Variété témoin
	F3	S2	Papèsèk
Rendement grain (t ha⁻¹)	5.5	4.3	4.7
Brix à maturité (%)	19.1	20.1	16