

BURKINA FASO

UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE DE
BOBO-DIOULASSO
(U.P.B.)

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE
(C.N.R.S.T.)

INSTITUT DU DÉVELOPPEMENT RURAL
(I.D.R.)

INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE
RECHERCHES AGRICOLES
(I.N.E.R.A.)

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

STATION DE RECHERCHES DE SARIA

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR DU DÉVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

**ÉVALUATION AGRONOMIQUE ET FOURRAGÈRE
DE 194 LIGNÉES RECOMBINANTES DE SORGHO**

Directeur de mémoire : Pr. C. KABORÉ-ZOUNGRANA
Maître de stage : Gilles TROUCHE

Juin 2001

KONDOMBO Clarisse Pulchérie

SOMMAIRE

	PAGES
REMERCIEMENTS	v
RÉSUMÉ	viii
ABSTRACT	ix
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES PHOTOS	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

PREMIÈRE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I : PRÉSENTATION DU MILIEU	3
1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE LA STATION DE SARIA	3
2. CLIMAT	3
3. VÉGÉTATION	4
4. SOLS	5
II : LE SORGHO	6
1. ORIGINE ET DOMESTICATION	6
2. TAXONOMIE	6
2.1. Données générales	6
2.2. Classification du genre <i>sorghum</i>	7
3. BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DU SORGHO	8
4. PLACE DU SORGHO DANS LE MONDE	9
5. IMPORTANCE DU SORGHO AU BURKINA FASO	10
6. UTILISATION	13
III. LES FOURRAGES	14
1. CARACTÉRISTIQUES DES PAILLES	15
1.1 Composition morphologique des pailles	15

1.2. Composition chimique des pailles	15
1.3. Données sur la valeur alimentaire des pailles de sorgho	17
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES SORGHOS A DOUBLE USAGE	19
3. CONCLUSION	19

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

I. MATÉRIEL VÉGÉTAL	20
II. MÉTHODES D'ÉTUDE	23
1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	23
2. VARIABLES MESURÉES ET CALCULÉES	24
2.1. Justification du choix des variables	28
2.1.1. Caractères quantitatifs	28
2.1.2. Caractères qualitatifs	29
2.2. Méthodes d'analyse statistique	34
2.2.1. Calcul de l'héritabilité	34
2.2.2. Traitement des données	35
3. CRITÈRES DE CHOIX DES LIGNÉES	36

TROISIÈME PARTIE : ÉTUDES AGRO-MORPHOLOGIQUES ET COMPOSITION CHIMIQUE DES PAILLES DE 194 LIGNÉES RECOMBINANTES DE SORGHO

I. INTRODUCTION	37
1. CONDITIONS GÉNÉRALES DE RÉALISATION DE L'ESSAI	37
2. DOMAINE DE VALIDITÉ DES RÉSULTATS	39
II. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR LES DONNÉES AGRONOMIQUES	40
1. RÉSULTATS	40
1.1. Examen de la normalité de la distribution des données parcellaires	40
1.2. Étude analytique des variables quantitatives	42
1.2.1. Paramètres descriptifs des variables agronomiques	42

1.2.2. Analyses de variance des variables agronomiques	43
1.2.3. Héritabilité des caractères agronomiques	44
1.2.4. Corrélations phénotypiques entre les variables agronomiques	/ 44
1.3. Examen des variables qualitatives	46
1.4. Classification des lignées	48
2. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS	51
III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR LES DONNÉES FOURRAGÈRES	54
1. RÉSULTATS	54
1.1. Examen de la normalité de la distribution des données parcellaires	54
1.2. Études analytiques des variables fourragères	58
1.2.1. Paramètres descriptifs des variables fourragères	58
a. Comparaisons entre feuilles et tiges	58
b. Paramètres descriptifs de la paille entière	59
1.2.2. Analyses de variance des variables fourragères	60
a. Résultats des feuilles et des tiges	60
b. Résultats de la paille entière	61
1.2.3. Héritabilité des caractères fourragers	61
1.2.4. Corrélations entre les variables fourragères	61
1.3. Classification des lignées pour leur valeur fourragère	65
1.3.1. Feuilles	65
1.3.2. Tiges	66
1.3.3. pailles entières	67
2. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS	68
IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR LES DONNÉES AGRONOMIQUES ET FOURRAGÈRES	72
1 RÉSULTATS	72
1.1 Discrimination des variables par l'ACP	72
1.2. Analyse de la variabilité des descendances par l'AFC	74
2. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS	78
V. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	81
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	84

ANNEXES

Annexe I-1 : description botanique des races fondamentales de sorghos	90
Annexe I-2a : superficies emblavées en céréales dans le monde en 1998	92
Annexe I-2b : production mondiale de sorgho en 1998	92
Annexe I-1c : superficies et production de sorgho au Burkina Faso de 1984 à 1998	92
Annexe II-1 : échelle de notation des caractères qualitatifs observés	93
Annexe III-1 : pluviosité de la parcelle 20	94
Annexe III-2 : combinaisons des caractères qualitatifs des deux parents	95
Annexe III-3 : suite des résultats agronomiques	96
Annexe III-4a : résultats des meilleures lignées pour la valeur fourragères des feuilles	97
Annexe III-4b : résultats des meilleures lignées pour la valeur fourragères des tiges	99
Annexe III-4c : résultats des meilleures lignées pour la valeur fourragères des pailles	101
Annexe III-5 : résultats de quelques lignées prometteuses pour un double usage	104
Annexe III-6 : modalités et effectifs des variables de l'AFC	105
Annexe III-7 : méthodes des calculs pour la courbe de satisfactions des besoins en eau	106

REMERCIEMENTS

Les travaux dont les résultats sont ici présentés, ont été conduits sur la station de recherche de Saria pour la partie expérimentale et la caractérisation morphologique des lignées et au laboratoire de nutrition de l'EMVT à Montpellier pour les analyses chimiques de la paille.

C'est l'occasion pour moi de remercier tous ceux qui m'ont encouragé ou soutenu durant la réalisation de ces travaux.

- Mes sincères remerciements s'adressent au Dr. Gnissa Isai KONATÉ, chef du Département Productions Végétales et au Dr. Sansan DA, chef de programme céréales traditionnelles pour le soutien qu'ils m'ont apporté au cours de ma formation. En outre, Dr. DA sélectionneur sorgho, a participé à ce travail en apportant ses critiques et suggestions pour l'amélioration de ce document.

- Les mots me manquent pour témoigner toute ma reconnaissance au Pr. Chantal KABORÉ-ZOUNGRANA de l'université de Bobo, qui a accepté malgré ses multiples occupations, d'assurer la responsabilité académique de ce travail. Par ses grandes qualités humaines elle s'est montrée très patiente et compréhensive lors de mes déplacements imprévus, acceptant réaménager son programme de travail pour me donner satisfaction. Ses critiques et ses orientations m'ont guidé au cours de ces travaux. J'ai appris avec elle à aimer le volet élevage.

- Ma reconnaissance va également à M. Gilles TROUCHE mon maître de stage, chercheur sélectionneur sorgho (INERA-CIRAD), qui a quitté le Burkina au moment où j'engageais ce travail. Malgré tout, il est resté à mon écoute, suivant avec intérêt l'évolution de ce travail. Il m'a apporté un grand appui dans la réalisation des travaux de terrain et de laboratoire. Ses orientations scientifiques, ses critiques et suggestions m'ont été d'une grande utilité dans la réalisation de ce travail.

- Mes remerciements vont à M. Jean Didier ZONGO, professeur titulaire en génétique et amélioration des plantes à l'université de Ouaga, qui n'a pas été très tôt associé à ce travail; malgré tout il a accepté apporter ses critiques et suggestions pour l'amélioration de ce document.

La partie collecte et analyses des données a nécessité la collaboration de nombreuses personnes aux quelles je suis reconnaissante. Je tiens à remercier particulièrement :

- Dr. Jacob SANOU sélectionneur maïs et Dr. Adama NÉYA phytopathologiste de la station de Farakoba, qui par leurs appuis techniques, leurs conseils et suggestions, ont contribué à la réalisation et à l'amélioration de ce travail.

Au niveau de la station de recherche de Saria une mention spéciale est faite à :

- M. Soulyemane NASSA, pour son appui technique dans la récolte et la caractérisation morphologique des pailles et pour sa contribution.

- M. PALÉ Grégoire et COMPAORE Dominique, ainsi que tous les manœuvres qui m'ont aidé dans la collecte des données; ensemble nous avons formé une bonne équipe de travail, je leur adresse mes sincères remerciements.

- Au Dr. Jean. Baptiste. TAONDA chef de programme GRN/SP, qui nous a permis d'utiliser leurs installations pour la caractérisation morphologique des pailles, à M. Robert ZOUGMORE et Korodjouma OUATTARA qui m'ont également apporté un appui technique au cours de ce stage, aux techniciens du labo de chimie pour le broyage des échantillons; qu'il en soient remerciés pour cette collaboration exemplaire.

- Mes remerciements s'adressent au Dr. Louis OUEDRAOGO délégué régional du centre, pour m'avoir accordé certaines facilités me permettant de travailler dans de bonnes conditions.

- Aux chercheurs du programme Production Animale qui ont été sollicités à un moment ou un autre de ce travail pour des précisions.

Sans le soutien financier et matériel de personnes extérieures, il nous aurait été difficile de réaliser la caractérisation chimique des pailles. Je tiens à remercier :

- Dr. Jaques CHANTEREAU sélectionneur sorgho au CIRAD-Montpellier, pour sa contribution dans l'initiation de ce travail, la mise en contacte avec l'EMVT et pour la prise en charge des frais d'expédition des échantillons de tiges.

- M. Hubert GUÉRIN, Philippe LECOMPTE et Dominique FRIOT, tous du CIRAD-EMVT, pour la prise en charge d'une partie des analyses et surtout les efforts accomplis pour me permettre d'avoir toutes les données pour ce mémoire.

- M. Fabrice DAVRIEUX spécialiste de la chromatographie et de la spectrométrie dans le proche infrarouge, pour sa contribution dans les analyses.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation. Ils se sont montrés soucieux pour ma réussite en restant à mon écoute durant les travaux de terrain. Je remercie particulièrement Dr. Hassane Bismarc NACRO qui m'a

RÉSUMÉ

Dans la région du plateau central du Burkina Faso, les activités agro-pastorales sont confrontées au problème de disponibilité en terres cultivables et de ressources fourragères pour l'alimentation des animaux. Celui-ci est le fait de l'extension des terres cultivées liée à la croissance démographique, à la faible fertilité des sols et à la précarité de la pluviométrie. Dans cette région, le sorgho est la céréale dominante et ses pailles constituent la première ressource fourragère dans l'alimentation des animaux de trait et des petits élevages bovins. Afin de mieux répondre aux besoins actuels des agriculteurs et des éleveurs, la recherche doit développer de nouvelles variétés de sorgho dites à double usage qui cumuleraient un potentiel de rendement grains élevé, une bonne qualité des grains comparable à celle des variétés locales et une bonne valeur nutritive de la paille.

Ainsi, 194 lignées recombinantes, issues d'un croisement entre une variété sélectionnée (*Sariaso 10*) et un écotype local (*Pelogo I*), ont été évaluées pour une trentaine de caractères agronomiques et fourragers. Les objectifs de cette étude sont d'une part : évaluer la valeur agronomique et fourragère des lignées ainsi que les héritabilités des différents caractères et d'autre part, identifier les lignées qui rassembleraient les critères de choix pour un double usage. Pour les caractères agronomiques, les critères de choix des lignées ont été définis afin de refléter au mieux les critères d'adoption des variétés en milieu réel : rendement grains élevé, bonne qualité de grains et durée du cycle adaptée. Sur le plan fourrager, les critères de choix ont porté sur : une bonne valeur nutritive des pailles et une production élevée de celles-ci.

Pour les aspects agronomiques, la durée du cycle semis floraison a la plus forte héritabilité (91 %); elle a en outre un lien négatif et très hautement significatif avec le rendement grains ($r = -0,81$). La synthèse des résultats montre que 12,4 % des lignées ont une production de grains supérieure à *Pelogo I* avec une bonne vitrosité de grains et un cycle court à moyen (cycle semis-floraison ≤ 76 jours). La lignée BF 95-11/104 est la meilleure des 194 lignées pour son rendement grains élevé (3297 kg/ha), la vitrosité de son grain (2,5) avec une durée de cycle semis floraison de 67 jours; elle a en outre un grain blanc et une panicule semis lâche qui la préserverait des moisissures de grains.

Pour ce qui concerne les aspects fourragers, les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) et la solubilité de la matière organique (SMO) ont les plus fortes héritabilités (≥ 70 %). Les constituants pariétaux ont un lien négatif et très hautement significatif avec la SMO. La synthèse des résultats montre que 6 % des lignées cumulent de faibles teneurs en fibres totales (NDF), des valeurs assez bonnes de solubilité de la matière organique ($SMO \geq 50$ %) et un assez bon apport en protéines totales à l'hectare. Les feuilles ont en moyenne une meilleure valeur nutritive comparativement aux tiges. Pour les feuilles, la lignée BF 95-11/160 a été la meilleure avec une teneur en matières azotées totale (MAT) de 70 g/kg de MS, une SMO de 50 % et une teneur en fibres de 650 g/kg de MS. Quant aux tiges, la lignée BF 95-11/106 est meilleure pour sa teneur en fibres (466 g/kg de MS), sa solubilité de la matière organique élevée (60 %). Pour ce qui concerne la paille entière la lignée BF 95-11/106 a une fois de plus été meilleure pour la valeur nutritive de sa paille, sa faible teneur en fibres (520 g/kg de MS) et sa solubilité de la matière organique élevée ($SMO = 56$ %); elle a en outre un apport important en protéines totales à l'échelle de la parcelle (419 kg/ha).

Pour les aspects agro-fourragers, aucune lignée ne rassemble les qualités optimales recherchées. Cependant, les lignées BF 95-11/33, 47, 68, 79, 96, 104, 36, 42 et 106 pourraient dans le cas d'un semis précoce et de bonne réponse à la photopériode donner de bons résultats pour un double usage.

Une deuxième année d'évaluation des 194 lignées, prévue à Saria au cours de la campagne agricole 2001, permettra de confirmer les premiers résultats obtenus et d'identifier les lignées répondant le mieux à l'objectif double usage pour la région Centre.

Mots clés : *Sorgho, production de grains, fourrage, valeur nutritive, sorghos à double usage.*

ABSTRACT

In the central shelf of region of Burkina Faso, the agro-pastoral activities were confronted to the problem of availability of cultivable lands and forage resources to assure animals feeding. This can be attributed to limitation of cultivable land due to population growth but also, the low fertility level of soils and precarious rainfall. In This region, Sorghum is the principal cereal crop cultivated and straws constitute the first forage resource in livestock feeding. Thus, to fine better solution in order to the farmer's and breeders needs, the research allowed to develop the new varieties for the dual-purpose, which combine a high yield potential, a good quality of grains comparable to the land race varieties and a good nutritive value of straws for dual-purpose.

For this purpose, 194 recombinant lines, derived from a cross between an improved variety (*Sariaso 10*) and a local landrace (*Pelogo I*), have been evaluated for about thirty agronomic and forage characters. The objectives of this study are on the one hand: to estimate the agronomic and forage characters value of lines and the inheritability of different characters on the other hand, to identify the lines which combined the criteria of selection for a dual-purpose. For the agronomic character the criteria of selection have been define to reflect the best adoption of varieties on-farm level: high grain production, good quality of grain and an appropriate growing cycle. The select criteria for forage were: a good nutritional value of straws and a high productivity.

Regarding agronomic aspect, the duration of growing cycle has the best inheritability (91%); it has a negative and very highly significant relation with the grain yield ($r = - 0,81$ %). Results synthesis show that 12,4 % of lines have a high productivity compared to the parent *Pelogo (I)*, a good quality of grain and short to medium duration. The line BF 95-11/104 exhibited the best agronomic performance, for its grain yield (3297 kg/ha), its grain quality (vitreousity = 2,5) and its sowing-flowering cycle duration (67 day); this line has a with grain and semi loose panicle which can preserve it for the mould grain.

Regarding forage aspect, the parietals constituents (NDF, ADF, ADL) and the organic matter solubility (SMO) have the high inheritability (≥ 70 %). The parietals constituents have a negative relation and very highly significant relation with the SMO. Results synthesis show that, 6 % of the lines combine low levels of Neutral detergent fiber (NDF), adequate levels of solubility organic matter and important contribution of crude proteins in the total dry matter per $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Leaves are the best nutritive value compared to stems. For leaves, the line BF 95-11/160 is the best with crude proteins level (Mat = 70 g/kg of dry matter), its SMO value is 50 % and 650 g/kg of dry matter for fiber lever. For stems, the line BF 95-11/106 has a low level for fibers (466 g/kg of dry matter), its SMO is high (60 %). Concerning straws, the line BF 95-11/106 has also be the best, for low level of its fiber (520 g/kg of dry

matter) and its high organic matter solubility (SMO = 56 %); its has an important contribution of crude proteins in the plot (419 kg.ha⁻¹).

Regarding to agronomic and forage aspect, any line didn't present optimal qualities looking for. However, the lines BF 95-11/33, 47, 68, 79, 96, 104, 36, 42 and 106 could give in the case of an early sowing and a good photoperiodic response better results for a dual-purpose.

A second year evaluation of the 194 lines will be done in the rainy season 2001 at Saria. This evaluation may allow to confirm the first results and to identify the lines which meet the dual-purpose for the central region.

Key words : *Sorghum, grain production, forage, nutritive value, dual-purpose sorghum.*

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement
EMVT (ex IEMVT)	: Élevage et Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux
FAO	: Food and Agricultural Organisation
GRNSP	: Gestion des Ressources Naturelles et des Systèmes de Productions
IBPGR	: International Board for Plant Genetic Resources
IPGRI	: International Plant Genetic Resources Institute
AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
TGMR	: Threshed Grain Mold Rating

LISTES DES TABLEAUX

	PAGES
Tableau I : composition chimique et digestibilité des sous produits agricoles (SPA) et sous produits agro-industriels (SPAI)	17
Tableau II : valeurs nutritives moyennes des résidus de récolte	18
Tableau III : opérations culturales de la campagne agricole 2000	24
Tableau IVa : variables mesurées et calculées pour l'évaluation des caractères agronomiques des 194 lignées recombinantes de sorgho	25
Tableau IVb : variables mesurées et calculées pour l'évaluation de la valeur fourragère des 194 lignées recombinantes de sorgho	27
Tableau V : paramètres statistiques de base des variables agronomiques	42
Tableau VI : analyses de variance des variables agronomiques	43
Tableau VII : corrélations phénotypiques entre les variables agronomiques	45
Tableau VIII : résultats des meilleures lignées agronomiques	50

Tableau IX	: composition chimique des feuilles et des tiges des 194 lignées recombinantes de sorgho	58
Tableau X	: paramètres statistiques de base des variables de la paille entière	59
Tableau XI	: analyses de variance des composants chimiques des feuilles et tiges	60
Tableau XII	: analyses de variance des composants chimiques de la paille entière	61
Tableau XIII	: corrélations entre les différentes variables fourragères	62
Tableau XIV	: caractérisation des cinq premiers axes de l'ACP	72

LISTES DES FIGURES

Figure 1	: pluviométrie moyenne annuelle de la station de Saria de 1944-2000	3
Figure 2	: évolution des superficies cultivées en céréales et en sorgho et de la production grains en sorgho de 1984 à 1998 au Burkina Faso	10
Figure 3	: pluviométrie moyenne annuelle du Burkina Faso de 1961 à 1990	39
Figure 4	: histogrammes de la distribution des données parcelaires des variables agronomiques	41
Figure 5a	: histogrammes de la distribution des données parcelaires des feuilles	55
Figure 5b	: histogrammes de la distribution des données parcelaires des tiges	56
Figure 5c	: histogrammes de la distribution des données parcelaires des pailles	57
Figure 6	: relations entre teneurs en SMO-NDF et SMO-MAT	64
Figures 7a 7b	: discrimination des variables par l'ACP	73
Figure 8a	: représentation des modalités de l'AFC dans le pan 1 x 2	76
Figure 8b	: représentation des individus de l'AFC dans le pan 1 x 2	77
Figure 9	: courbe de la satisfaction des besoins en eau des 196 lignées de sorgho	79

LISTE DES PHOTOS

PHOTO 1a	: variété <i>Sariaso</i> 10	22
PHOTO 1b	: variété <i>Pelogo</i> (I)	22
PHOTO 1c	: panicules de <i>Pelogo</i> (I) et de <i>Sariaso</i> 10	22
PHOTO 2a	: lignée BF 95-11/82	38
PHOTO 2b	: lignées BF 95-11/41	38
PHOTO 3	: diversité paniculaire sur les lignées recombinantes	47

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Situé au cœur de l'Afrique Occidentale, le Burkina Faso s'étend sur une superficie de 274 000 km², entre 9°20' et 15°05' de latitude Nord; 2°20' de longitude est et 5°03' de longitude ouest. C'est un pays continental où 81 % de la population active relève du secteur rurale. L'agriculture et l'élevage, considérés comme le moteur du développement économique, contribuent pour plus de 80 % aux recettes d'exportations du pays (A.J.A., 1998).

L'agriculture est dominée par les cultures céréalières qui occupent 85 % des surfaces totales cultivées. Les superficies d'emblavure en céréales augmentent au fil des ans, consécutive à la croissance démographique et aux facteurs agro-pédo-climatiques défavorables (PRUDENCIO, 1986; POCTHIER, 1992). Pour une culture comme le sorgho, céréale la plus importante au Burkina Faso, les superficies qui lui sont consacrées ont augmenté de 40 % en 15 ans, passant de 1 million d'ha en 1984 à 1,4 millions en 1998 (MA/DSA, 2000). Certes, cela a engendré une augmentation de la production qui est passée de 600 000 tonnes à 1,2 millions de tonnes au cours de la dite période, mais cette production reste fragilisée par les variations et la mauvaise répartition pluviométrique. Ainsi, pour faire face aux incertitudes pluviométriques, les producteurs ont opté pour les écotypes locaux de faibles productivités, mais mieux adaptés aux conditions contraignantes de culture, à cause de leur sensibilité à la photopériode.

Dans le plateau central, entre le secteur nord sahélien et sud soudanien, WITTIG et GUINKO, 1998, où la densité de la population est l'une des plus forte du pays (46-70 hab/km²), les superficies cultivées ont été augmentées au détriment des aires de pâturages naturels, d'où une diminution des herbacées principales ressources alimentaires du cheptel en augmentation (19,2 millions de têtes à l'échelle nationale pour les principaux ruminants en 1998; MRA/DSAP, 2000). Cette situation crée une grave crise alimentaire pendant la saison sèche et la seule alternative des producteurs reste l'utilisation des résidus de cultures, dont les pailles de sorgho constituent l'essentielle, mais de faible valeur nutritive (KABORÉ-ZOUNGRANA 1995 et SAVADOGO et al 1999). La réalité aujourd'hui est que dans cette zone la situation alimentaire des hommes et du cheptel est préoccupante; pourtant, selon les statistiques, la production céréalière totale du Burkina doit augmenter de 30 % d'ici l'an 2010

**PREMIÈRE PARTIE :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

(HANAK-FREUD, 1999) pour arriver à couvrir les besoins de la population dont le taux de croissance est estimé à 3 % l'an (A.J.A., 1998).

Au vue de ces difficultés alimentaires, le sorgho étant la céréale la plus cultivée dans cette zone pourrait dans le cadre d'une amélioration conjointe de ses caractères agronomiques et fourragers répondre aux préoccupations des producteurs et des éleveurs de la dite zone; c'est dans ce contexte que se situe ce travail. Il a pour objectif principal d'identifier dans du matériel recombinant, des sorghos à double usage, rassemblant de bonnes qualités agronomiques et une bonne valeur nutritive de la paille. Le présent travail comprend trois parties :

- une première partie qui situe le contexte scientifique de notre étude, et faisons une synthèse bibliographique de l'état actuel des connaissances sur le sujet;
- une seconde partie consacrée à la description détaillée de l'ensemble de la démarche, ainsi que la justification du choix des caractères à l'étude;
- une troisième partie qui présente les résultats et discussions, suivi des conclusions et perspectives sur ce travail.

I. PRÉSENTATION DU MILIEU

1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE LA STATION DE SARIA

La station de recherches agricoles de Saria, siège actuel du Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles (CRREA) de la zone centre, a été créée en 1920. Elle est située à 23 km à l'est de Koudougou et à 80 km à l'ouest de Ouagadougou. Elle s'étend sur une superficie de 400 hectares dont 80 hectares de bas-fonds et 320 ha aménagés en blocs de 8 hectares. La station de Saria est représentative sur le plan climatique et pédologique de l'ensemble du plateau central (ARRIVETS, 1973).

2. CLIMAT

Le climat est de type soudanien, caractérisé par une longue saison sèche d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse de Juin à Septembre.

Les précipitations subissent de grandes variations inter-annuelles (figure 1). La moyenne pluviométrique en 57 ans (1944 à 2000) est de 830 mm. Les extrêmes enregistrées durant cette période ont été de 569 mm en 1944 et 1219 mm en 1994. Pour la saison pluvieuse 2000, la pluviosité enregistrée a été de 798 mm sur la station.

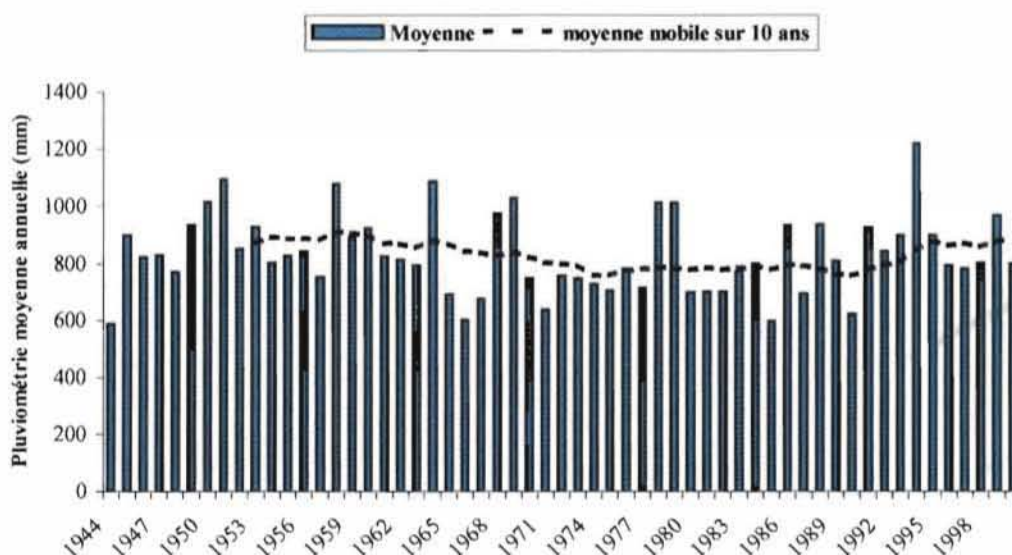


Figure 1 : pluviométrie moyenne annuelle de la station de Saria de 1944-2000

La température moyenne annuelle est de 28°C. Les minima se situent en saison sèche froide (Décembre-Février : 12 à 15°C). Quant aux maxima, elles se situent en saison sèche chaude (Mars-Avril) où elles atteignent 40 à 42°C.

Le régime des vents est sous l'influence des alizés caractérisés par :

- un vent humide de direction sud-ouest provenant de l'anticyclone de Saint-Hélène : la mousson qui est à l'origine des pluies;
- un vent continental sec de direction nord-est provenant de l'anticyclone saharien : l'harmattan.

L'humidité relative de l'air connaît également des variations saisonnières : 70 à 90 % en Juillet-Septembre et 15 à 22 % en Février-Mars (JENNY, 1964; ROOSE et *al.*, 1979).

3. VÉGÉTATION

A l'origine, la végétation naturelle était une savane arborée. De nos jours, elle est très dégradée en raison des feux de brousse, du surpâturage et du déboisement. Les formations rencontrées sont :

- La strate arborée : elle est dominée par des espèces protégées : *Vitellaria paradoxa* (karité), *Parkia biglobosa* (néré), *Adansonia digitata* (baobab), *Tamarindus indica* (tamarinier), *Acacia albida* et d'autres espèces comme *Lannea microcarpa* (raisinier), *Bombax costatum* (kapokier), *Ziziphus mauritiana* (jujubier);
- La strate arbustive : elle est dominée par les *combrétacées* : *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulata*;
- Les formations herbacées : elles n'existent pratiquement plus que sur la station. Elles sont représentées par *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicelatum*; des espèces telles que *Loudetia togoensis* et *Schoenfeldia gracilis* sont rencontrées sur les sols peu profonds.

4. SOLS

L'étude des sols à l'échelle de la station a été réalisée par plusieurs pédologues : JENNY (1964); ARRIVET (1973); ROOSE et al. (1979). La classification des sols établie par ces différents auteurs est faite sur la base de la classification française. La dernière est celle réalisée en 1996 par l'ERGECI/Développement sur la base de la classification FAO.

Les sols de la station de Saria sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non, issus d'une roche mère granitique. Ce sont des sols à faible fertilité chimique, carencés en azote, en potassium total et disponible, en phosphore total et assimilable. Le complexe absorbant est désaturé et pauvre en matière organique (1 %). Les teneurs en argile sont faibles (15-20 %) et son de type kaolinitique; ce qui explique la faible capacité d'échange cationique qui est de 3 méq/100 g de sol.

Le relief de la station est plat avec une légère pente de 0,7 % reposant sur un vieux socle précambrien de granito-gneiss (JENNY, 1964).

II. LE SORGHO

Le sorgho, *Sorghum bicolor* (L) Moench, est la plus importante culture vivrière dans les régions tropicales semi-aride d'Afrique et d'Asie du Sud-Est (MURTY et *al.*, 1995). Sa diffusion en dehors de son aire traditionnelle de culture est due aux progrès génétiques.

1. ORIGINE ET DOMESTICATION

Le sorgho fait partie des plantes les plus anciennement cultivées dans le monde. Très peu de preuves archéologiques existent sur son origine et des doutes subsistent quant à l'époque de sa domestication. Pour divers auteurs (HARLAN et De WET, 1972; DOGGET, 1965, cités par HOUSE, 1987), le sorgho aurait une origine africaine et aurait été domestiqué il y a environ 3000 ans avant Jésus Christ dans une vaste zone de savane en bordure Sud du Sahara, vraisemblablement en Ethiopie. En effet, c'est dans cette zone que les sorghos sauvages et cultivés présentent le plus de variabilité (DOGGET, 1965; HARLAN, 1975; HARLAN et STEMLER, 1976, cités par DEGREMONT, 1992). C'est de ce berceau d'origine que la dispersion géographique s'est faite dans le monde à partir des grandes routes commerciales (HOUSE 1987). Les sorghos cultivés dériveraient de la sous espèce *Arundinaceum* et de la race *Verticilliflorum*.

2. TAXONOMIE

2.1. Données générales

Le sorgho est une plante herbacée annuelle; elle appartient à la famille des *poacées* (ex-graminées), sous famille des *panicoidés*, tribu des *andropogonées* et au genre *Sorghum*. Son génome est diploïde avec pour nombre de base chromosomique $n = 10$. C'est une espèce monoïque préférentiellement autogame. Les taux d'allogamie généralement cités sont de l'ordre de 5 à 7 % (DOGGET, 1988). Ce taux varie largement selon les cultivars : nul pour les variétés complètement cléistogames (dont les fleurs ne s'ouvrent pas au moment de la fécondation), il peut atteindre 30 % chez les sorghos fourragers ou de race *Guinea* (CHANTEREAU et KONDOMBO, 1994).

Diverses descriptions ont été faites sur le sorgho dont celle de LINNE (1753) cité par FAO (1995), qui décrit trois espèces de sorgho cultivé : *Holcus sorghum*, *Holcus saccharatus* et *Holcus bicolor*. La conception actuelle du genre *Sorghum* et des espèces respecte les bases données par MOENCH en 1794. Il fut le premier à définir le genre *Sorghum* et l'espèce *bicolor*. Le nom de *Sorghum bicolor* (Linné) MOENCH actuellement utilisé pour le sorgho cultivé a été proposé par CLYTON en 1961.

2.2. Classifications du genre *Sorghum*

La toute première classification complète du genre *Sorghum* est l'œuvre de SNOWDEN (1936) cité par HARLAN et De WET (1972). Toutes les autres classifications établies par la suite n'ont été que des modifications ou des adaptations du système SNOWDEN. Cette classification est apparut complexe à l'usage et ne tient pas compte du fait qu'il n'existe aucune barrière reproductive entre les sorghos cultivés (CELARIER, 1959 cité par DEGREMONT, 1991). Ce qui a conduit HARLAN et De WET (1972) à proposer une classification simplifiée des sorghos cultivés. Ainsi la section *sorghum* du genre *Sorghum* (qui comprend cinq sections), a été divisée en trois espèces et trois sous espèces dont la sous espèce *sorghum bicolor* qui comprend cinq races fondamentales de sorghos cultivés : *bicolor*, *guinée*, *caudatum*, *durra* et *kafir* et dix races intermédiaires issues des croisements deux à deux de celles-ci. La description botanique des races fondamentales est donnée en annexe I-1. Cette classification qui est la plus fonctionnelle de nos jours a été reprise par De WET (1978) et légèrement modifiée par l'IBPGR (ACHEAMPONG et *al.*, 1984) cités par OLITRAULT (1989).

3. BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DU SORGHO

Le sorgho est une plante annuelle, préférentiellement adaptée aux régions tropicales chaudes à pluviométrie comprise entre 450 et 1200 mm. Dans les conditions normales de culture (saison pluvieuse), il a besoin de 90 à 150 jours pour parfaire son cycle. La germination a lieu en 24 heures dans les sols chauds à 20°C et plus. Son zéro de germination est de 12°C et la température optimale de croissance se situe entre 33 et 34°C. Le sorgho est moins exigeant en eau que le maïs et le blé (HOUSE, 1987).

Le sorgho se caractérise par sa faculté d'adaptation exceptionnelle aux conditions extrêmes d'humidité et de sécheresse. Cela s'explique par l'importance de son système racinaire dense et puissant, pouvant aller jusqu'à deux mètres de profondeur (FLIEDEL et *al.*, 1996). Sa résistance à la sécheresse s'explique également par le faible taux de transpiration du système foliaire et sa capacité à interrompre son métabolisme et à rester en veilleuse en période de sécheresse. Une autre particularité physiologique du sorgho est l'action des dépôts de silice dans l'endosperme des racines qui empêche leur dégradation en cas de sécheresse (ASIEDU, 1989).

La plante présente une tige principale constituée d'une série de nœuds et d'entrenœuds. Elle est grêle à robuste de diamètre allant de 0,5 à 5 cm et de hauteur variant entre 0,5 m à plus de 5 m (HOUSE, 1987; ZONGO, 1994). La tige est accompagnée de talles dont le nombre varie en fonction des conditions de cultures et des caractéristiques variétales.

Les feuilles constituées d'une gaine et d'un limbe sont alternes, glabres, dressées ou retombantes, de longueur variant entre 30 et 135 cm et de largeur comprise entre 1,5 et 13 cm. Leur nombre également très variable, va de 7 à plus de 30 en fonction des cultivars (CHANTEREAU et NICOU 1991). Les taches qui se manifestent sur les feuilles sous l'action des maladies foliaires ou d'attaques d'insectes permettent de distinguer les sorghos de type anthocyané à taches rouges et les sorghos de type tan à taches jaunes.

L'inflorescence, de longueur très variable est une panicule rameuse portée par l'entrenœud supérieur ou pédoncule; elle peut varier de 2 à 25 cm chez les variétés à panicules compactes (HOUSE, 1987) et de 12 à 60 cm chez les variétés à panicules lâches de type *Guinea* (ZONGO, 1994). L'axe central est constitué d'un rachis d'où partent des

ramifications primaires, secondaires et tertiaires et se terminent par deux épillets qui composent l'unité florale appelée racème : l'un est sessile et fertile, l'autre est pédicellé et stérile. Les différentes parties constitutives de la panicule contribuent à la reconnaissance des différentes formes raciales.

Le grain contenu dans les glumes de forme, de taille et de composition très variable selon les variétés, est composé de trois parties : une enveloppe appelée péricarpe qui représente 6 à 8 % du poids sec du grain, un tissu de réserve (albumen) qui renferme 80 à 84 % du poids sec du grain et un embryon ou germe, qui détient 7,8 à 12,1 % du poids sec du grain (WALL et BLESSIN, 1969, cités par ASIÉDU, 1989). La couleur du grain est la résultante de plusieurs facteurs dont la couleur du péricarpe, son épaisseur, l'absence ou la présence de couche brune et la couleur blanche ou jaune de l'albumen. Ainsi, la couleur peut varier du beige, marron clair (brun) au rouge ou pourpre foncé (DOGGET, 1988).

4. PLACE DU SORGHO DANS LE MONDE

En 1998, le sorgho se classait au 5^{ème} rang de la production céréalière mondiale, après le maïs, le blé, le riz, et l'orge (FAO 1999) annexe I-2a.

La production grain était estimée à 62 millions de tonnes, soit 3 % de la production céréalière mondiale sur une superficie totale de 43,4 millions d'hectares. Le rendement moyen était de 1425 kg/ha. Ce chiffre couvre des disparités importantes entre les pays développés et les pays en développement. Ces différences, sont essentiellement liées aux contraintes écologiques, aux pratiques culturales et au matériel végétal adopté dans les différentes zones de production.

En Afrique, la culture du sorgho s'étend sur 23 millions d'hectares soit 25 % des terres emblavées en céréales, ce qui représente 53 % de la superficie mondiale récoltée en sorgho. La production en 1998 était estimée à 20,1 millions de tonnes soit 32,4 % de la production mondiale. Le rendement moyen était de l'ordre de 876 kg/ha.

A l'échelle mondiale, les Etats Unis viennent en tête des pays producteurs avec 13,2 millions de tonnes; ils sont suivis de l'Inde avec 8,5 millions de tonnes; du Nigeria 7,1 millions de tonnes. Le Burkina Faso se classait au huitième rang mondial des pays producteurs, derrière le Soudan et l'Argentine (annexe I-2b).

5. IMPORTANCE DU SORGHO AU BURKINA FASO

Le sorgho est la plus importante culture vivrière au Burkina Faso. Il devance en superficies (48 % de superficies céréalières) et en production grain, le mil, le maïs, le riz et le fonio (annexe I-2c), MA/DSA (2000).

La production grain a sensiblement augmenté à partir de 1991 et se situe au-delà du million de tonnes en année de pluviométrie non déficitaire (figure 2). Les rendements sont très variables dans le temps et dans l'espace. Ces disparités de rendement, s'expliquent par la diversité des milieux : différence de fertilité des terres cultivées, pressions parasitaires, forte variation inter annuelle des précipitations. Le rendement grain moyen en quinze ans (1984-1998) est de l'ordre de 725 kg/ha dans les conditions de culture extensive.

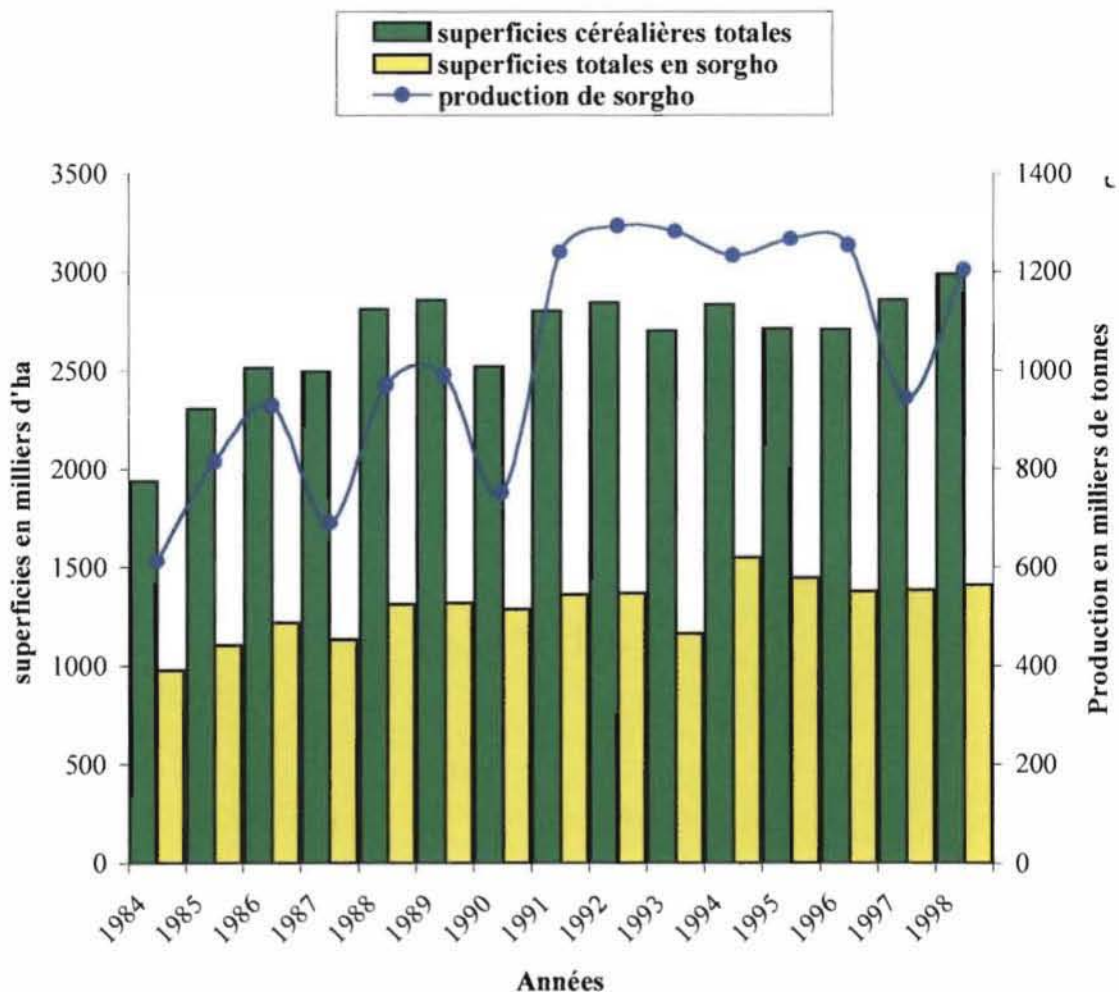


Figure 2 : évolution des superficies cultivées en céréales et en sorgho et de la production grains en sorgho de 1984 à 1998 au Burkina Faso

Le sorgho est cultivé dans les trois principales zones agro-climatiques du Burkina Faso, plus particulièrement entre les isohyètes de 650 mm et supérieur à 1000 mm (SAPIN 1983, SOMÉ et SIVAKUMAR, 1994). Toute fois il est prépondérant dans la zone soudano-sahélienne entre 11°30' et au Sud du 14° de latitude Nord, où la pluviosité moyenne annuelle est de 600 à 900 mm. Les variétés qui sont cultivées ont un cycle moyen inférieur ou égale à 120 jours.

Dans la zone sud soudanienne (sud du 11°30' de latitude nord) où le maïs prédomine, les surfaces emblavées en sorgho sont encore importantes. Avec une pluviosité moyenne annuelle supérieure à 900 mm, les variétés cultivées ont un cycle pouvant atteindre 150 jours.

Dans la zone septentrionale, au delà du 14° de latitude nord, la pluviosité moyenne annuelle est inférieure à 600 mm; le mil est abondant et le sorgho n'est cultivé qu'aux abords des bas-fonds.

Les variétés de sorgho au Burkina Faso, représentent presque toute la diversité raciale des sorghos cultivés. Les plus cultivées sont les variétés traditionnelles dont plus de 70 % appartient au sorgho de race *guinea* et à la sous race *gambicum* (SAPIN 1983).

ZONGO (1994), a identifié dans un échantillon tiré de 865 entrées 3,5 % de *caudatum*, 2,5 % de *bicolor*, 1,1 % de *durra* et 93,1 % de *guinea*. Cette forte adoption des sorghos de la race *guinea* est liée à leurs hautes qualités agronomiques : rusticité, adaptation aux conditions édaphiques et climatiques souvent défavorables; à cela s'ajoute leur bonne qualité du grain qui convient aux habitudes culinaires des populations rurales. Malheureusement toutes ces qualités sont contrebalancées par une faible productivité en grains.

L'ensemble de ces variétés est réparti en deux groupes :

- les variétés traditionnelles;
- les variétés améliorées.

Les variétés traditionnelles sont le fruit d'un long processus de sélection de la part des agriculteurs. La principale caractéristique du matériel local est la rusticité. Les éléments essentiels de cette rusticité se rencontrent chez les sorghos de type *Guinée* et s'expriment par : un bon démarrage végétatif, le pouvoir compensateur du tallage, l'important développement racinaire lié au fort développement végétatif. En outre leur sensibilité à la photopériode leur confère une bonne adaptation aux contraintes environnementales et agronomiques (flexibilité

pour les dates de semis et sans apport de matières fertilisantes). Ces variétés ont comme autres avantages de posséder une bonne qualité du grain, une résistance aux moisissures, un bon rendement au décortilage et une stabilité du rendement; cependant, les variétés locales n'ont pas que des qualités : elles ont un potentiel de rendement limité et se caractérisent par des tiges très hautes (5 m), d'où un faible rapport grains/pailles. Elles valorisent mal les techniques culturales d'intensification (DA, 1994; TROUCHE et al., 1998).

Les variétés améliorées sont de deux types (TROUCHE et al., 1998):

- les variétés d'origine locale obtenues par sélection massale au sein des écotypes locaux. Elles possèdent les caractères agronomiques de ces dernières, mais ont perdu leur diversité intra variétale à cause des multiplications par auto fécondation;
- les variétés sélectionnées qui sont majoritairement de type *Caudatum*. Ces variétés ont été développées pour des conditions de cultures semi-intensives à intensives. Elles se singularisent par une paille plus courte, un tallage plus faible et un potentiel de production plus élevé (4 à 7 t/ha), cela grâce à l'amélioration de deux composantes du rendement : le nombre de grains par panicule et le poids des grains. Elles ont l'avantage de mieux valoriser les techniques agronomiques et les intrants agricoles. Malgré les qualités spécifiques que ce matériel possède : tolérance à la sécheresse, aux maladies foliaires et à certains insectes comme la cécidomyie, une bonne appétibilité de la paille par les ruminants; il reste très peu adopté par les paysans. Cette faible intégration des variétés améliorées dans les systèmes de cultures traditionnels, est liée à leur manque de souplesse face aux contraintes climatiques (respect des dates de semis, faible réponse à la photopériode), au fait qu'elles exigent plus d'attention et d'intrants (application des itinéraires techniques, apport de fertilisation) et aux difficultés de conservation des grains liées à leur qualité (sensibilité aux moisissures et attaques d'insectes en cours de conservation).

6. UTILISATION

Si dans les pays développés le sorgho grain est essentiellement destiné à l'alimentation animale ou à l'utilisation industrielle (fabrication de farines, semoules, pains, biscuits, sirop, bière, fibre pour la papeterie, sucres pour la production de biocarburants et alcool), dans les pays en développement la production est largement auto consommée par les populations. En effet, le sorgho est la première denrée alimentaire de plusieurs régions d'Afrique (Nigeria, Soudan, Ethiopie, Burkina Faso, etc.) et d'Asie (Inde, Chine, etc.). Il est également utilisé en faible proportion dans l'alimentation humaine en Amérique centrale (Mexique) et en Amérique latine (Argentine).

En Afrique, le grain de sorgho entre dans la préparation de plusieurs mets locaux : tô, couscous, beignets, galettes, boissons fermentées; il est également consommé frais, grillé ou bouilli. Les sorghos à petits grains (sous race *margaritifera*) sont souvent consommés sous forme de riz. Les tiges servent à l'alimentation du bétail, comme matériaux de construction ou comme combustible. Certains sorghos sont utilisés dans la teinture et d'autres de type fourrager comme le sorgho à balais.

III. LES FOURRAGES

L'alimentation du cheptel au Burkina Faso comme celle de la plupart des pays de la zone soudano-sahélienne est assurée par le pâturage naturel. Les herbacées constituent l'essentiel des espèces consommées. La biomasse est abondante pendant la saison pluvieuse mais diminue au cours de la saison sèche.

Depuis plus d'une décennie on assiste à une diminution du pâturage (WITTIG et GUINKO, 1998), consécutive aux facteurs naturels et socio-économiques. Cette situation qui est diversement ressentie à travers le territoire, affecte beaucoup plus les zones sahélienne et Nord soudanienne. Le développement de l'élevage dans ces zones se heurte aux contraintes (financières) d'utilisation des sous produits agro-industriels (SPAI) comme complément alimentaire, au faible niveau technique des éleveurs et au manque d'infrastructures adéquates permettant de stocker d'importantes quantités de fourrages pour la période sèche. Comme palliatifs les éleveurs utilisent les résidus de récoltes essentiellement composés de fanes de légumineuses (arachide, niébé) et de pailles de céréales (sorgho, mil, maïs, riz).

En 1989-1990, la production nationale en résidus de céréales était évaluée à 5,9 millions de tonnes et celle des légumineuses à 165 000 tonnes. La zone Nord soudanienne à elle seule fournissait 3,1 millions de tonnes de résidus de pailles et seulement 52 000 tonnes de fanes de légumineuses (KABORÉ-ZOUNGRANA, 1995). Ces quantités sont passées en 1996-1997 à 6,7 millions de tonnes pour les résidus de céréales et 721 000 tonnes pour les fanes de légumineuses. Dans la zone Nord soudanienne, les résidus de cultures sont estimés à 4,3 millions de tonnes et pourraient servir à entretenir près de 98 % des ruminants de la dite zone durant la période sèche. Cependant, sur le plan qualitatif les résidus de légumineuses sont pourvus de bonnes valeurs nutritives mais la production reste très insuffisante. Quant aux résidus de céréales, les chiffres mettent en exergue le fait que le déficit alimentaire chez les ruminants est beaucoup plus en rapport avec les apports alimentaires qualitatifs que quantitatifs (SAVADOGO et *al.*, 1999). Du fait de la prépondérance du sorgho dans le plateau central (2,2 millions de tonnes de résidus par an, avec une production moyenne de 2356 kg/ha), la sélection de variétés fournissant des pailles de meilleures valeurs nutritives, permettraient de corriger l'ampleur du déficit alimentaire constaté pendant la période sèche.

Dans cette bibliographie sommaire, il sera fait une description des pailles, de leur composition chimique, ainsi qu'un bref aperçu des résultats sur leur valeur alimentaire.

1. CARACTÉRISTIQUES DES PAILLES

Les pailles résultent de la dessiccation naturelle des plantes à la fin de leur cycle. Elles sont constituées d'une tige, des feuilles et d'un rachis (reste de l'épis). Chez les céréales, seules les tiges et les feuilles sont généralement réservées au fourrage.

Décrites comme étant des aliments grossiers de très faible valeur nutritive, les pailles sont riches en constituants pariétaux principalement en lignine (constituant pariétal non digestible) et pauvres en azote (GRENET et DEMARQUILLY, 1987). Elles apportent surtout de l'énergie et sont un bon aliment de lest indispensable au bon fonctionnement du rumen.

1.1. Composition morphologique des pailles

Les pailles à l'instar des autres aliments ont deux composantes essentielles :

- l'eau dont la teneur est très variable selon la nature de l'organe et les composantes de l'environnement (saison, etc.). A l'état sec elle représente 5 à 10 % de la matière sèche (RIVIÈRE, 1977).
- la matière sèche (MS) qui comprend : les matières minérales et la matière organique. Elle est constituée de glucides, de lipides et de protéines.

De nombreux auteurs ont montré que la composition chimique des fourrages varie suivant l'espèce, l'organe, la période de récolte, le climat et le sol. Les variations sont aussi observées pour les teneurs en éléments minéraux (RIVIÈRE, 1977; ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987). Ainsi les pailles des graminées ont des teneurs en minéraux indispensables (Ca, P, Cl, Na, Mg, S) élevées en début de végétation et faibles en fin de cycle; c'est le cas également des teneurs en protéines. En outre, les teneurs en minéraux et en azote varient selon le type d'organe : elles sont plus importantes dans les feuilles que dans les tiges.

1.2. Composition chimique des pailles

La valeur alimentaire d'un fourrage est la résultante de sa composition chimique, de sa digestibilité et de son utilisation métabolique. Elle est déterminée à partir des principaux

constituants chimiques de la Matière Sèche (MS) que sont : les Matières Minérales (MM), la Matière Organique (MO), les Matières Azotées Totales (MAT), les fibres : *Neutral Detergent Fiber* (NDF) ou fibres insolubles dans le détergent neutre, *Acid Detergent Fiber* (ADF) ou fibres insolubles dans le détergent acide et *Acid Detergent Lignin* (ADL) ou lignine sulfurique. A cela s'ajoutent les facteurs anti-nutritionnels tels que les tanins. La caractérisation de ces paramètres permet de déduire les valeurs d'ingestion du fourrage afin d'établir des rations alimentaires.

L'ingestion d'un fourrage est fonction de sa digestibilité qui est dépendante de la teneur en parois totales (NDF) et du degré de lignification de ces parois. CHENG et *al.*, (1977) cités par GRENET et DEMARQUILLY (1987), ont montré que les micro-organismes (bactéries) responsables de la dégradation des aliments dans le rumen se fixaient peu ou pas sur les parois fortement lignifiées. D'autre part, les travaux de DEMARQUILLY et ANDRIEU (1987) et ceux d'autres auteurs tels que HAGGAR et AHMED, (1970), ZEMMELINK et *al.*, (1972), ont montré que chez les herbacées, quel que soit la méthode utilisée dans l'estimation des constituants pariétaux (WEENDE, VAN-SOEST), la digestibilité est indépendante de la teneur en parois et que le degré de lignification des parois est le facteur le plus significatif contrôlant cette digestibilité. Par ailleurs, cette digestibilité dans le cas des fourrages pauvres est positivement liée à la teneur en matières azotées totales et négativement à la cellulose brute ou aux teneurs en fractions non digérées des parois (KABORÉ-ZOUNGRANA et *al.*, 1999). Ainsi, les feuilles constituées de parois cellulosiques ont une dégradabilité plus élevée que les tiges riches en parois lignifiées; c'est le cas chez le trèfle, où les feuilles ont une dégradabilité plus élevée et sont digérées en 3 heures, contre 12 heures pour les tiges (AKIN, 1979; cité par GRENET et ANDRIEU, 1987). Selon MILFORD et MINSON (1965), une teneur en matières azotées totales (MAT) inférieure à 70 g/kg de MS est insuffisante pour assurer un développement normal des micro-organismes responsables de la digestibilité dans le rumen. Par ailleurs des teneurs en parois totales (NDF) supérieures 600 g/kg de MS et une solubilité de la matière organique (SMO) inférieure à 50 % de la MO ont une influence négative sur la digestibilité.

Les teneurs importantes en tannins (tels que les phénols) provoquent une altération des processus de digestibilité, soit par précipitation des protéines salivaires ou par adhésion aux muqueuses buccales. Selon HAY et VAN HOVEN (1988) cités par KABORÉ-ZOUNGRANA (1995), une teneur de 1 % en acide tannique dans la ration alimentaire réduirait la digestibilité des fibres de 9 % et celle des protéines de 7 %. Cela s'explique par le

fait que les bactéries responsables de la dégradation dans le rumen n'arrivent pas à pénétrer dans les tissus végétaux contrairement aux tissus à faibles tannins.

1.3. Données sur la valeur alimentaire des pailles de sorgho

Beaucoup de travaux ont été consacrés à la connaissance de la valeur nutritive du grain (ASIEDU, 1989), mais très peu ont été menés sur les pailles.

Une étude réalisée par KABORE-ZOUNGRANA (1995) sur la composition chimique de quelques sous produits agricoles (SPA) et sous produits agro-industriels (SPAI), fait ressortir des faibles teneurs en MAT pour les pailles, qui en revanche sont riches en parois cellulaires (tableau I).

Tableau I : composition chimique et digestibilité des SPA et SPAI
(KABORE-ZOUNGRANA, 1995)

Type d'aliment	Composition chimique (g/kg MS) des SPA et SPAI			Digestibilité (%) des constituants chimiques et teneurs en matières azotées digestives en (g/kg MS) des SPA et SPAI			
	Cendres	MAT	NDF	MS	MO	MAT	NDF
Fanes d'arachides	98	132	418	66	72	72	62
Pailles de riz	166	45	678	50	55	26	57
Pailles de sorgho	70	18	716	44	46	20	30
Paille de sorgho traité (PST)	67	572	857	66	64	40	75
PST + TKM + TC	70	116	627	55	58	44	55

NB : TKM = tourteau de Karité Mélassé et TC = Tourteau de Coton

Les pailles ont une ingestibilité faible. Distribuées à des ovins sur la base de 70 g/kg p^{0,75}, les taux de refus ont été plus élevés avec la paille de sorgho (44,4 %) qu'avec le riz (21,5 %). Cette faible ingestibilité s'accompagne d'une digestibilité réduite de la matière sèche (MS), expliquant qu'il soit souvent difficile de les distribuer comme seul aliment de la ration.

(MS) et en MAT 4,1 à 5,1 % de la MS. *Sariaso* 10 présente des teneurs en matière organique de 87 % et 5,1 % en matières azotées totales (MAT).

2. ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES SORGHOS A DOUBLE USAGE

Au Burkina Faso, beaucoup d'efforts ont été consentis depuis 1970 par les programmes de sélection variétale à l'amélioration de la productivité, de la qualité du sorgho grain et de la résistance aux maladies et insectes ravageurs de la culture (SAPIN, 1983; DA, 1994; ZONGO, 1994; TROUCHE et *al.*, 1998), mais très peu ont été consacré à celle des pailles.

En Inde les sorghos à double usage sont d'utilisation courante (RATUNDE, 1996). Au Burkina Faso, la faible disponibilité fourragère dans les zones à fortes pressions foncières, les risques de pertes causés par les feux de brousse, les termites et le piétinement font que les paysans récoltent et stockent les pailles pour la saison sèche; mais cette récolte ne se fait pas sur la base de connaissance de leur valeur nutritive.

Des enquêtes réalisées sur 3 ans (1997-1999) par le programme céréales traditionnelles (volet sorgho) de l'INERA en milieu paysan (données non publiées), font ressortir une préférence alimentaire des ruminants, pour les pailles des variétés sélectionnées *Caudatum* par rapport aux variétés locales *Guinée*. Cette préférence s'exprime aussi bien à l'état frais qu'à l'état sec des pailles. Ces résultats viennent conforter ceux de SOHORO et *al.*, 1994.

3. CONCLUSION

Cette étude bibliographique montre l'intérêt du sorgho grain et de sa paille au Burkina Faso. Cependant, la valeur fourragère des pailles (faibles teneurs en matières azotées totales, teneurs élevées en parois et solubilité faible de la matière organique) est insuffisante pour être utilisée comme seul aliment du bétail.

**DEUXIÈME PARTIE :
MATÉRIEL ET MÉTHODES**

**DEUXIÈME PARTIE :
MATÉRIEL ET MÉTHODES**

I. MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'étude a été réalisée avec 194 lignées recombinantes, provenant du croisement en 1995 entre deux lignées parentales *Sariaso 10* et *Pelogo (I)*. La description des parents faite d'après HARLAN et De WET (1972), classe le parent femelle *Sariaso 10* dans la race *caudatum* et le parent mâle *Pelogo (I)* dans la race *guinée*. Le premier a un potentiel de rendement grains élevé et sa paille très appréciée par les ruminants. Le second se caractérise par sa rusticité et la qualité de son grain qui se prête bien aux habitudes culinaires des Burkinabé. Les caractères généraux des deux parents (fiches techniques, 1998) sont décrits ci-après :

Sariaso 10 : synonyme de *BF 83-3/48-2-1*, est une variété sélectionnée de race *caudatum* issue d'un croisement entre *193-2* et *IRAT 10* de race *caudatum*, obtenue à Saria en 1989. Elle présente une bonne vigueur à la levée, une hauteur de plante de 230 à 270 cm avec un maximum de 1 talle basal utile. Sa réponse à la photopériode est faible. Son cycle semis-floraison est de 80 à 85 jours, soit un cycle total de 120 jours pour un semis du 15 juin. La couleur de la plante est tan avec un assez bon stay-green à maturité (3). La panicule est semi-compacte et les glumes de couleur paille renferment un grain blanc sans couche brune. Le poids de 1000 grains varie de 23 à 26 g. Le grain est semi-vitreux (3 selon l'échelle IPGRI). La teneur en amylose est de 23,5 % de la matière sèche, avec une fermeté du t \hat{o} de 14,2 Newton. Le rendement grains potentiel en station est de 4,1 t/ha et le rendement grains en milieu paysan est de 2,7 t/ha. C'est une variété à tiges sucrées et probablement pauvre en fibres.

Pelogo (I) est un écotype local de la race *guinée* prospecté en 1961 dans la région de Ouagadougou au Burkina Faso. 78 est le numéro d'enregistrement dans la collection sorgho de Saria et *IS 7680* est le numéro d'introduction dans la collection mondiale. Il présente une bonne vigueur à la levée, une hauteur de plante allant de 320 à 370 cm avec au maximum 2 talles utiles. Il est sensible à la photo-période; le cycle semis-floraison est de 80 à 85 jours soit un cycle total de 120 jours pour un semis du 15 juin. C'est une variété anthocyanée. La panicule lâche à glumes noires, renferme des grains blancs, peu tachés et sans couche brune. Le grain est de bonne qualité avec une vitrosité de 2,5 selon l'échelle IPGRI. La teneur en amylose est de 26 % de la matière sèche; la fermeté de t \hat{o} est de 19,7 Newton. Le rendement grains potentiel est de 2,7 t/ha et le rendement moyen est de 2 t/ha. Cette variété n'a pas fait l'objet de test récemment en milieu paysan. Le poids de 1000 grains est en moyenne de 25

grammes. C'est une variété dont les caractéristiques fourragères ne sont pas connues. Les photos 1a, 1b et 1c, donnent un aperçu de la morphologie des deux parents.

Quant aux lignées recombinantes issues des deux parents et baptisées BF 95-11, elles sont au stade F6 (6^e générations de sélection). Elles constituent du nouveau matériel et représentent en théorie toute la variabilité obtenue à partir du croisement entre les deux parents. A la génération F2, 200 plantes ont été tirées au hasard, autofécondées puis récoltées individuellement. Les 200 panicules F3 ainsi obtenues, ont été semées l'hivernage suivant en panicules-lignes. A partir de cette génération elles ont été conduites suivant la méthode *Single Seed Descent* (SSD) jusqu'à la génération F6. A chaque génération une plante est aléatoirement choisie dans chaque lignée au stade montaison puis autofécondée pour fournir les semences de la génération suivante.

Le but recherché dans cette étude est d'identifier dans ce groupe de lignées recombinantes, celles qui cumuleraient un potentiel de rendement grains élevé, une bonne qualité des grains comparable à celle des variétés locales et une bonne valeur nutritive de la paille, afin de fournir du matériel de bonne qualité aux agro-pasteurs. En outre ces lignées doivent présenter une bonne adaptation aux conditions agro-pédo-climatiques du milieu de culture. Ce qui permettra de lever les contraintes de productions, d'éviter la transhumance du cheptel facteur de dégradation des ressources végétales et de parvenir à une meilleure intégration entre agriculture et élevage.

Cette phase préliminaire de l'étude consistera à :

- évaluer les caractères agronomiques, les composantes du rendement grains et calculer les héritabilités pour chaque caractère agronomique;
- évaluer la productivité de la paille et la valeur fourragère des lignées, à partir de leur composition chimique et à établir l'héritabilité pour chaque caractère;
- évaluer les inter-relations entre caractères agronomiques et fourragers afin d'identifier les lignées qui présenteraient de bonnes qualités agronomiques ainsi qu'une bonne valeur fourragère.

A partir des résultats de ces travaux, des orientations générales pour la sélection de ce type de matériel pourraient être proposées.



Photo1a : variété *Sariaso 10*



Photo1b : variété *Pelogo(I)*



Photo 1c : panicules de *Pelogo (I)* et de *Sariaso 10*

II. MÉTHODES D'ÉTUDE

1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'expérimentation s'est déroulée pendant la saison pluvieuse 2000 sur la parcelle 19 de la station de Saria, avec le niébé comme précédent cultural.

Le dispositif de l'essai est un lattice carré (14 X 14), avec trois répétitions. Chaque répétition (ou bloc) est constituée de 14 sous blocs de 14 lignées chacun. Au sein de chaque sous bloc, deux lignées ne peuvent être associées qu'une seule fois. Les répétitions sont séparées entre elles par des allées de deux mètres. Ce dispositif permet un contrôle des hétérogénéités du milieu entre les sous blocs en calculant des moyennes ajustées. Il est ainsi recommandé pour les expérimentations avec un nombre élevé de traitements (COCHRAN et COX 1991).

La parcelle élémentaire totale pour chaque lignée, est une ligne de 5 m de long soit une superficie de 4 m². La parcelle utile représente 4,2 m de long soit une superficie de 3,36 m²; les deux premières et les deux dernières plantes de chaque ligne sont exclues pour la répétition I, tandis que pour les répétitions II et III, ce sont la première et la dernière plante ainsi que les deux plantes détruites pour les mesures du brix qui sont exclues. La superficie totale de l'essai est d'environ 3500 m².

Le semis est réalisé en poquets sur la ligne, aux écartements de 80 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets. Le démariage est à une plante par poquet, soit un nombre théorique de 26 plantes pour la parcelle totale et 22 pour la parcelle utile. La densité à l'hectare est de 62500 plantes.

Pour protéger les jeunes plantes contre la mouche des pousses et les iules, du carbofuran a été utilisé dans les poquets au moment du semis.

L'apport de la fertilisation minérale a été réalisé suivant les recommandations faites aux services de vulgarisation par l'INERA (Tableau III). Cependant, pour les besoins de l'étude il n'a pas été fait un buttage, mais les techniques d'économie d'eau ont consisté à la

réalisation des billons cloisonnés avec des sillons bien ouverts entre les lignes, en évitant de ramener la terre au collet des plantes.

TABLEAU III : opérations culturales de la campagne agricole 2000

Nature des travaux	Dates de réalisation
Labour	23/6 et 24/6
Hersage	24/6 et 25/6
Semis	6/7
Démariage	22/7
Sarclages	23/7 et 18/8
Application des engrais	
100 kg/ha de NPK (15-20-15), 6S-1B	23/7
50 kg/ha d'urée à 46 % d'azote	25/8
Buttage*	25/8
Récolte des panicules	20/10, 21/10 et 23/10 pour les lignées précoces et 18/11 pour les lignées tardives
Récolte des pailles	22/10, 24/10 et 19/11

* = confère paragraphe précédent

2. VARIABLES MESURÉES ET CALCULÉES

Trente-trois variables ont servi à la caractérisation agronomique et à la détermination de la composition chimique de la paille des 194 lignées recombinantes. La liste des variables agronomiques mesurées et calculées est consignée dans le tableau IVa, tandis que celle de la valeur fourragère figure dans le tableau IVb. Quant aux échelles de notation des caractères qualitatifs, elles sont consignées en annexe II-1

Les données agronomiques sont collectées sur deux ou trois répétitions. Elles ont été évaluées soit sur l'ensemble de la parcelle utile, soit sur deux ou cinq plantes aléatoirement choisies dans la parcelle utile. Les composantes de la valeur fourragère ont été mesurées sur deux répétitions (II et III), après la récolte des panicules.

Pour le volet fourrager, après la caractérisation morphologique des pailles réalisée à Saria, la détermination de la composition chimique des feuilles et des tiges a été faite au laboratoire de nutrition animale du CIRAD-EMVT à Montpellier.

Tableau IVa : variables mesurées et calculées pour l'évaluation des caractères agronomiques des 194 lignées recombinantes de sorgho

Caractères quantitatifs	Code du caractère	Échantillons mesurés	Nombre de répétitions considérées	Stade d'observation
<u>Caractères de la plante</u>				
Cycle semis-épiaison	CSE	Parcelle totale	3	Reproduction
Cycle semis-floraison	CSF	Parcelle totale	3	Reproduction
Teneur en sucres des tiges	brix(1 et 2)	2 plantes /p u	2	Reproduction
Nombre de feuilles	NF	5 plants /p u	3	Végétatif
Diamètre de la tige principale	DT	5 plants /p u	2	Maturité
Hauteur de la tige principale	HT	5 plants /p u	3	Maturité
<u>Caractères du grain</u>				
Poids de 1000 grains	P1000	Parcelle utile	3	Post récolte
<u>Caractères agronomiques</u>				
Nombre de poquets levés	NPL	Parcelle utile	3	10 jrs après semis
Nombre de plantes récoltées	NPLRE	Parcelle utile	3	A la récolte
Nombre de panicules récoltées	NPAN	Parcelle utile	3	A la récolte
Poids sec des panicules	PPAN	Parcelle utile	3	Post récolte
Poids sec des grains	Pgr	Parcelle utile	3	Post récolte
<u>Caractères qualitatifs</u>				
<u>Caractères de la plante</u>				
Couleur nervure centrale	CNC	5 plants	2	Reproductive
Couleur tâches foliaires	CTF	Parcelle totale	3	Reproductive
Caractère stay-green	ST-G	Parcelle totale	3	A la récolte
Compacité de la panicule	CPA	Parcelle utile	3	A la récolte
<u>Caractères du grain</u>				
Vitrosité	VIT	Parcelle utile	3	Post récolte
Couleur du grain	Cgr	Parcelle utile	3	Post récolte
Sensibilité aux moisissures	SM	Parcelle utile	3	Post récolte
Couche brune	CB	Parcelle utile	3	Post récolte
<u>Caractères agronomiques</u>				
Vigueur à la levée	VL	Parcelle totale	3	A la levée
Maladies foliaires	MF	Parcelle totale	3	Grains laiteux

Variables calculées	Code du caractère	Échantillons mesurés	Nombre de répétitions	Stade d'observation
Nombre de panicules par m ²	NPANm ²	Parcelle utile	3	Post récolte
Tallage basal utile = (NPAN-NPLRE)/NPLRE	TBU	Parcelle utile	3	Post récolte
Nombre de grains par panicule = (Pgr/PAN)/P1gr	Ngr/PAN	Parcelle utile	3	Post récolte
Rendement grains (kg/ha) = NPANm ² x Ngr/PAN x P1G	Rgr	Parcelle utile	3	Post récolte

Le rendement est la quantité de produit par unité de surface. Il s'élabore tout au long du cycle biologique de la culture. Le principe de la décomposition du rendement des céréales en ces principaux composants permet d'analyser la variabilité de la production. Pour les céréales, le rendement se décompose selon les trois composantes suivantes : $Rgr = NPANm^2 \times Ngr/PAN \times P1gr$ (poids moyen d'un grain) Il est basé sur le fait que pour un cultivar donné, il existe sur une surface déterminée, une compétition pour les ressources principales qui sont les facteurs de rendement : l'eau, la lumière le CO₂ et les éléments minéraux. L'analyse des composantes permet d'identifier les facteurs qui ont été limitants à l'accroissement de la production, particulièrement pour les composantes du rendement telles que le nombre de grains par panicule et le poids moyen d'un grain. Ces composantes dépendent du potentiel génétique de la variété, mais restent influencées par les conditions du milieu de culture.

Tableau IVb : variables mesurées et calculées pour l'évaluation de la valeur fourragère des 194 lignées recombinantes de sorgho

Variables quantitatives mesurées	Code du caractère	Collecte des données	Mode d'obtention
Poids frais des tiges (g)	PFT	3 plantes par parcelle	Pesée directe
Poids frais des feuilles (fe) en g	PFF	3 plantes par parcelle	Pesée directe
Poids frais des pailles (g)	PFpai	parcelle utile (p u)	Pesée directe
Teneur (T) en MS des tiges (%)	TMST	PS échT/PF échT (1)	
Teneur en MS des feuilles (%)	TMSF	PS éch F/PF échF (2)	
Teneur en MS des pailles (%)	TMSP	PSF + PST/PFF + PFT	
T en Matières Minérales (% MS)	MM	2 éch/lignée /r organe	analyses au NIRS
T en Matières Organiques (% MS)	MO	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
T en matières azotés totales (% MS)	MAT	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
T Neutral Detergent Fiber (% MS)	NDF	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
T Acid Detergent Fiber (% MS)	ADF	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
T Acid Detergent Lignin (% MS)	ADL	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
Solubilité de la MO (% MO)	SMO	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
Teneur en phénols (% MO)	PH	2 éch/lignée / organe	analyses au NIRS
Variables calculées		Méthodes des calculs	
Poids sec des feuilles (g) (3 plantes)	PSF	PFF x TMSF	
Poids sec des tiges (g) (3 plantes)	PST	PFT x TMST	
Poids sec, pailles totales (g) p.u.	PSPAI	PFPai x TMSP	
Ratio feuilles sur tiges	F/T	PSF/PST	
Rendement pailles (kg/ha)	Rpai	(PSPAI/3,36 m ²) x 10 000	
Rendement des tiges (kg/ha)	RTI	RPAI x PST/PSPAI	
Rendement des feuilles (kg/ha)	RFE	RPAI x PSF/PSPAI	
Quantité de MO des tiges (kg/ha)	QMOti	RTI x TMO tiges	
Quantité de protéines des tiges (kg/ha)	QMAti	RTI x TMA tiges	
Quantité de MO des fe (kg/ha)	QMOfe	RFE x TMO feuilles	
Quantité de protéines de fe (kg/ha)	QMAfe	RFE x TMA feuilles	
Quantité de MO des pailles (kg/ha)	QMOP	PSPAI x TMO totale	
Quantité de protéines totales (kg/ha)	QPT	PSPAI x TMA totale	

(1) et (2) : PFéchT, PséchT, PféchF, PséchF, PSPAI (confère en page 31, méthodes de détermination de la composition morphologique des pailles).

2.1. Justification du choix des variables

Les cinq plantes suivies par parcelle ont été aléatoirement choisies parmi les vingt deux plantes de la surface utile, une quinzaine de jours après la levée.

Certains caractères sont à déterminisme simple : il s'agit des caractères qualitatifs obtenus par notation suivant des échelles allant de 1 à 9.

Pour les analyses morphologiques et chimiques des pailles, la détermination des teneurs en matières sèches (MS) et en matières minérales (MM), sont des étapes préalables pour l'évaluation de la valeur fourragère des pailles.

Les critères qui ont guidé le choix des variables et la méthodologie de travail sont précisés ci-dessous.

2.1.1. Caractères quantitatifs

Le nombre de feuilles : ce caractère permet d'estimer l'importance des feuilles dans la composition morphologique de la plante entière pour une utilisation fourragère. Il permet par ailleurs de vérifier la liaison entre ce caractère et le rendement grains. Le dénombrement a consisté en un marquage réalisé une fois par semaine dès le stade 4-5 feuilles sur les cinq plantes choisies de la ligne. Les physiologistes ont en effet montré que chez les variétés sensibles à la photopériode, la diminution du nombre de feuilles était positivement corrélée au rendement grains. Plusieurs auteurs cités par KABORÉ-ZOUNGRANA (1995) ont noté que la digestibilité de la plante entière est beaucoup plus liée à celle des feuilles que des tiges.

La hauteur de tige : Pour notre étude, la hauteur de tige a été mesurée afin de voir si elle a une relation positive avec la production de paille et le rapport feuilles sur tiges. Elle est mesurée du sol jusqu'à la base de la panicule.

Diamètre de tige : Il peut également aider à expliquer les rendements pailles. La mesure est effectuée sous le troisième entre-nœud sous paniculaire.

Estimation de la teneur en sucres des tiges : Elle est mesurée par l'appareil brix. C'est un réfractomètre équipé d'une fonction de compensation automatique de la température. Il est conçu pour les mesures de concentration en sucres des jus de fruit et d'extraits végétaux. Une

échelle de mesure graduée de 0 à 30 (en % de brix) incorporée dans l'appareil indique le niveau du brix.

Les mesures sont faites sur deux des cinq plantes choisies (deuxième et troisième tige). Le principe a consisté en un mélange de la moelle prélevée à trois hauteurs différentes de la tige : à la base de la tige (environ 2 à 5 cm du sol), au milieu en tenant compte du nombre d'entre nœuds et à l'avant dernier entre-nœud.

Les prélèvements ont lieu à deux stades phénologiques, afin de voir la dynamique de la teneur en sucres des tiges. La première mesure est réalisée 7 jours après le stade 50 % floraison (brix1), qui correspond à la période où il y a le maximum de sucres simples (glucose et fructose); la deuxième au stade grains pâteux (brix2) où le saccharose est maximal (PETRINI et al. 1993; cités par CHANTEREAU et al. 1999). A ce stade, il y a également un important stockage d'hydrate de carbone dans le grain sous forme d'amidon. Il semblerait qu'une teneur importante en sucres soit associée à une diminution de la teneur en lignine (d'où une fragilisation des tiges), ce qui accroîtrait la digestibilité de la paille (FRITZ et al. 1981, cités par CHANTEREAU et al. 1999).

Il a été semé à la suite de chaque répétition cinq lignes du parent femelle *Sariaso 10*. Sur chacune de ces lignes un échantillon de cinq plantes est également évalué pour la teneur en sucres aux deux stades phénologiques, afin de voir si en fonction des micros variations du milieu, la teneur en sucres subit une variation.

2.1.2. Caractères qualitatifs

La vigueur à la levée : elle exprime l'énergie physique avec laquelle les plantules se dégagent de la terre; elle permet également de juger de la qualité sanitaire des grains (résistance aux moisissures) et de leur maturité. Elle est observée une dizaine de jours après la levée suivant une échelle de notation de 1 à 5.

Couleur de la nervure centrale : c'est un caractère qui permet visuellement de donner des informations sur la teneur en sucres des tiges. Une coloration brune de la nervure centrale indique souvent une teneur en sucres élevée (Dogget, 1988). Les observations sont faites une semaine après le stade 50 % floraison sur la troisième feuille sous paniculaire.

Couleur des taches foliaires : elle se caractérise par une coloration jaune (tan) ou rouge (anthocyané) sur les feuilles (limbe et gaine). L'intérêt de ce caractère n'est pas bien connu pour la valeur fourragère. Ce caractère ne semble pas jouer sur les éléments de la valeur fourragère mais, peu influencer l'ingestibilité des pailles. La couleur tan serait liée à une faible teneur en lignine dans les pailles.

Les maladies foliaires : elles concernent l'antracnose foliaire, les taches grises et les bandes de suie. Les observations ont été faites aux stades grain-laiteux à grains-pâteux. En effet, les phytopathologistes estiment que c'est le stade le plus approprié pour l'évaluation de ces maladies. Pour l'antracnose foliaire les observations ont porté sur le limbe et sur la nervure centrale. Une forte attaque se traduit par une réduction de la photosynthèse et la circulation de la sève d'où une influence sur le rendement grains.

Caractère stay-green : C'est une estimation du degré de sénescence des feuilles au stade de maturité. Ce caractère traduit la capacité de la plante à tolérer la sécheresse post floraison. Le stay-green est fonction de la variété et des conditions du milieu de culture (humidité, profondeur du sol). En cas de faible sénescence, le stay-green pourrait influencer les valeurs d'ingestibilité et la digestibilité des pailles.

La couche brune du grain ou testa : C'est une couche pigmentée située entre le péricarpe et l'albumen. Elle est riche en composés tanniques. Elle s'observe à partir du grattage du péricarpe. Sa présence confère une meilleure résistance aux moisissures des grains. Par contre elle colore les préparations culinaires et déprécie la qualité du grain en diminuant la digestibilité des protéines.

La vitrosité du grain : c'est la partie de l'albumen corné (vitreux). Elle est notée visuellement sur une de 1 à 5. Tout comme la couche brune ou la compacité de la panicule, la vitrosité est un paramètre qui évalue la qualité du grain. Les grains vitreux sont riches en protéines totales, plus résistants aux moisissures, aux insectes et ont une bonne aptitude à la conservation et à la préparation du tô.

Moisissures des grains : elles sont causées par un complexe de champignons (*Fusarium*, *Curvularia*, *Aspergillus*, *Colletotrichum*, etc.). Les panicules compactes qui arrivent à

maturité avant la fin de la saison des pluies sont les plus sensibles. La présence des moisissures déprécie la qualité du grain et diminue sa longévité.

Méthodes de détermination de la composition morphologique des pailles

La caractérisation des pailles a été faite sur les répétitions II et III. Elle a consisté après la récolte des panicules en un premier temps, en une coupe des trois plantes restantes sur les cinq initialement choisies, afin de déterminer la teneur en matière sèche des feuilles et tiges et le rapport feuilles sur tiges. La procédure utilisée a été la suivante :

- séparation et pesée à l'état frais des feuilles (gainés et limbes) et des tiges pour les trois plantes par lignée,
- après passage des creusets vides à l'étuve pendant environ 5 heures, pesées des creusets,
- prélèvement et constitution de deux échantillons pour chaque organe par lignée,
- pesées des échantillons plus creusets,
- séchage à l'étuve à 105°C pendant 72 heures,
- pesées des échantillons secs feuilles et tiges,
- détermination de la teneur en matière sèche des feuilles et tiges,
- Détermination du rapport feuilles sur tiges.

Une deuxième étape a consisté à une récolte des pailles restantes de la parcelle utile, suivi de pesée à l'état frais afin d'évaluer le rendement paille.

Dans chaque lot, six plantes ont été aléatoirement prélevées, les feuilles et tiges séparées et mises à sécher à l'air libre au soleil, dans des sacs en tissu popeline. Les échantillons après séchage, ont été passés au gros broyeur (3 mm de diamètre) et au petit broyeur (1 mm de diamètre), avant d'être conditionnés dans des sachets en papier kraft pour les analyses classiques au laboratoire du CIRAD-EMVT avec la technique du NIRS (*Near Infrared Spectroscopy*) ou SPIR (*Spectrométrie dans le Proche Infra Rouge*).

C'est une technique de dosages rapides, précises et non destructives des constituants chimiques des aliments. Cette technique a été appliquée dès 1962 par NORRIS de USDA (United States Department of Agriculture).

La spectrométrie est basée sur la propriété que les molécules organiques ont d'absorber de l'énergie dans le proche infrarouge (entre 800 et 2500 nm). Chaque constituant a une signature particulière et unique (eau, protéines, matières grasses, glucides et fibres etc.).

Lorsqu'une radiation infra rouge touche une molécule il se produit pour certaines longueurs d'onde une absorption sélective de la lumière correspondant aux fréquences de vibrations caractéristiques des différentes liaisons chimiques. La quantité d'énergie absorbée est proportionnelle au nombre de groupement fonctionnel de la molécule et donc de la concentration d'un constituant donné.

Cette technique permet une mesure de la qualité intrinsèque ou nutritionnelle liée à la composition d'une denrée telle que les céréales ou celle des fourrages. Le principal avantage de la spectrométrie est sa rapidité, sa simplicité et le faible coût des analyses.

Analyses chimiques des pailles

L'analyse chimique a consisté à une caractérisation des principaux constituants chimiques de la paille, selon les méthodes standard (AOAC), toutes les précisions relatives figurent dans le recueil de fiches techniques d'analyse des aliments de BASTIANELLI et HERVONET, 2000.

Tous les échantillons de feuilles et de tiges (784) ont été analysés avec la méthode du NIRS. Pour chaque échantillon, on obtient un spectre d'absorption spécifique dans le proche infra-rouge. Avec les données spectrales enregistrées pour chaque échantillon, un sous-ensemble représentant au mieux la diversité des spectres d'absorption a été choisi. Au total 65 échantillons de tiges et 40 échantillons de feuilles ont été retenus pour déterminer la teneur des principaux constituants chimiques de la paille. A partir des résultats des analyses chimiques obtenus avec ces échantillons, des équations ont été établies pour chaque paramètre considéré; lesquelles ont ensuite été utilisées pour prédire la valeur de chaque échantillon. Les analyses ont concerné les paramètres suivants :

Les matières azotées totales (MAT) : C'est une estimation de la concentration en protéines brutes de l'aliment.

La matière organique (MO) : elle permet de déterminer les quantités d'énergie contenues dans un aliment.

Les constituants pariétaux (fibres): son intérêt est d'isoler différentes fractions pariétales permettant de prédire la valeur énergétique des aliments. Ils sont déterminés selon la méthode de fractionnement de Van Soest. Ils comprennent :

- le NDF (Neutral Detergent Fiber), qui sont les fibres insolubles dans le détergent neutre. C'est la somme théorique des celluloses, hémicelluloses, et de la lignine.
- L'ADF (Acid Detergent Fiber) ou ligno-cellulose. Ce sont des fibres insolubles dans le détergent acide. Il est la somme de la cellulose et de la lignine. La différence NDF-ADF est une approximation des hémicelluloses (parois difficilement digestibles).
- L'ADL (Acid Detergent Lignin) ou lignine sulfurique. Il est une estimation des parois indigestibles. La différence ADF-ADL, est une approximation de la cellulose dite de Van Soest.

La solubilité de la matière organique (SMO) : c'est une technique in vitro utilisant une enzyme, la pepsine-cellulase, qui permet une mesure de la digestibilité cellulosique de la MO; Elle donne une estimation de l'énergie nette apportée par l'aliment et qui peut être utilisée par l'animal pour couvrir ses besoins d'entretien et de production.

Les phénols totaux : c'est un dosage des phénols totaux utilisant comme réactifs le Folin-Ciocalteu et le carbonate de sodium. Les tanins sont des facteurs de réduction de la valeur nutritive d'un aliment. La présence de tanins combinés aux protéines dans les végétaux réduit l'hydrolyse dans le tube digestif. A l'état libre, ils peuvent conférer un goût amer ou astringent aux aliments ou réagir avec les enzymes digestives en réduisant leurs activités.

2.2. Méthodes d'analyse statistique

2.2.1. Calcul de l'héritabilité

L'héritabilité exprime la part de la variance totale attribuable à l'effet moyen des gènes, donc le degré de ressemblance pour un caractère déterminé entre individus apparentés. L'intérêt de ce paramètre est qu'il donne une indication sur la part de confiance dans la prédiction de la valeur génotypique par la valeur phénotypique du caractère. Il existe deux types d'héritabilité : *l'héritabilité au sens large*, et *l'héritabilité au sens étroit*.

- *L'héritabilité au sens large* (h^2_{sl}) est le rapport de la variance génotypique (VG) à la variance phénotypique (VP) ou variance totale. Elle permet d'estimer la part du déterminisme génétique dans l'établissement des caractères étudiés. Si l'héritabilité est faible cela traduit une influence du milieu sur l'expression des caractères. Elle donne une indication sur les limites de l'amélioration génétique possible du caractère étudié.

$$h^2_{sl} = \frac{V G}{V P}$$

- *L'héritabilité au sens étroit* (h^2_{se}), est le rapport de la variance génétique additive (VA) à la variance phénotypique (VP) ou variance totale. Elle indique la faculté de transmission des caractères parentaux à leur descendance ou encore le degré de confiance dans la prédiction de la valeur des enfants en croisement. Cette héritabilité, est la somme des effets individuels des gènes dans l'expression du caractère. Les seuls effets transmissibles avec certitude sont les effets additifs (FALCONER, 1974).

$$h^2_{se} = \frac{V A}{V P}$$

Trois types d'effets génétiques composent la variance génotypique : variance additive (VA) + variance de dominance (VD) + variance d'interaction (VI),

La variance phénotypique est la résultante de la variance génétique (VG) et de la variance due à l'environnement (VE).

Pour notre étude il ne sera établi que l'héritabilité au sens large, car seul un plan de croisement diallèle ou test cross aurait permis d'établir les deux types d'héritabilité pour chaque variable quantitative étudiée.

La décomposition de la variation phénotypique a été réalisée selon le modèle général ci-après :

$$p_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$$

μ : moyenne de la population des lignées recombinantes

g_i : effet génotype aléatoire de variance σ^2g de la lignée i

b_j : effet bloc considéré comme fixe du bloc j

e_{ij} : effet résiduel aléatoire de variance σ^2e (variation environnementale).

Ce modèle donne l'expression de la valeur phénotypique p_{ij} d'une lignée recombinante i en fonction de sa valeur génotypique g_i dans le bloc j .

La variance génétique a été calculée à partir des carrés moyens génétique (CMg) et résiduel (CMe) qui donne une estimation satisfaisante de la variance environnementale, k = nombre de répétitions.

$$\sigma^2e = CMe$$

$$\sigma^2g = (CMg - CMe)/k$$

$$h^2sl = \left[\frac{\sigma^2g}{(\sigma^2g + \sigma^2e)} \right] \times 100$$

2.2.2. Traitement des données

L'ensemble des données de base est traité par le logiciel MSTAT-C. A partir des carrés moyens (traitements et résiduels) de l'analyse de variance, les variances génétiques et les héritabilités au sens large ont été calculés selon la méthodologie décrite précédemment. Quant aux coefficients de corrélations, ils ont été calculés avec les valeurs moyennes ajustées obtenues à partir des analyses de variances.

En ce qui concerne les analyses multidimensionnelles elles sont faites à partir du logiciel Excel avec le module XLSTAT.

Analyse de variance : cette méthode d'analyse est utilisée afin de rechercher si les traitements sont différents ou non. Ainsi, pour chaque variable quantitative prise individuellement les valeurs obtenues sont des moyennes ajustées par traitement. Les valeurs de : l'écart type à la moyenne (ETM) qui mesure la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne, la valeur de F

(test de signification de Fisher-Snedecor) devra nous situer si l'effet variétal est significatif ou non. Le coefficient de variation (CV) qui est le rapport de l'écart type résiduel à la moyenne indiquera le degré de précision des mesures par rapport aux erreurs expérimentales.

Deux méthodes d'analyses statistiques multidimensionnelles ont été utilisées dans le traitement des données collectées : l'analyse en composante principale (ACP) et l'analyse factorielle des correspondances (AFC).

Analyse en composantes principales (ACP) : elle a servi à la discrimination des variables agronomiques et fourragères; ceci permet de voir comment se structurent les variables; quelles sont celles qui sont associées et celles qui s'opposent. Cette analyse permet une synthèse structurée de l'information contenue dans de très grands tableaux de données. C'est une méthode d'analyse adaptée au traitement des variables quantitatives.

Analyse factorielle des correspondances (AFC) : son objectif est de présenter sous forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau de données de n individus sur lesquels on a mesuré p variables qualitatives et quantitatives transformées en modalité. Cette méthode permet de représenter simultanément, dans un système d'axe ou facteurs orthogonaux, les individus et les modalités des variables et de mettre en évidence les associations entre caractères et la structuration des individus. Les principes de base de ces différentes méthodes ont été décrits par divers auteurs dont LAGARDE (1995).

3. CRITÈRES DE CHOIX DES LIGNÉES

Ils tiennent compte de ce que le nouveau matériel apporte par rapport à l'écotype local.

Pour les aspects agronomiques, un rendement grains supérieur à celui de *Pelogo* (I), une vitrosité du grain jugée satisfaisante (≤ 3), une durée de cycle inférieure ou égale à celle des parents.

Pour les aspects fourragers, une teneur en matières azotées totales (MAT) supérieure ou égale à 70 g /kg de matière sèche (MILFORD et MINSON, 1965), une teneur en parois totales (NDF) inférieure ou égale à 600 g/kg de matière sèche et une valeur de solubilité de la matière organique (SMO) supérieure ou égale à 50 %.

TROISIÈME PARTIE :
ÉTUDE AGRO-MORPHOLOGIQUE
ET COMPOSITION CHIMIQUE DES
PAILLES DE 196 LIGNÉES DE
SORGHO

I. INTRODUCTION

1. CONDITIONS GÉNÉRALES DE RÉALISATION DE L'ESSAI

La saison des pluies 2000 a démarré tardivement à Saria; de ce fait le labour a accusé un retard et les semis initialement prévus pour le 15 juin ont été réalisés le 6 juillet.

La levée a été bonne pour la majeure partie des lignées. Pour 69 % des parcelles, l'effectif théorique de 26 plantes par ligne était atteint. Suite à une attaque de la mouche des pousses (*Atherigona soccata*), 29 % des parcelles totalisaient entre 24 et 25 poquets levés, tandis que 2 % des parcelles enregistraient des effectifs de 19 à 23 poquets. La pluviosité enregistrée après les semis a permis un bon développement et une bonne croissance des plantes jusqu'à la fin du mois d'août. A partir de la première quinzaine du mois de septembre, leur croissance a été perturbée par une poche de sécheresse, intervenue au moment où la plupart des plantes atteignaient le stade de gonflement (tableau pluviométrique en annexe III-1). Cette situation nous a conduit à faire des apports minima d'eau pendant 8 jours, à la fin de la première semaine de septembre sur l'ensemble de l'essai, afin de ne pas compromettre la suite de l'étude. Les quantités d'eau recueillies à partir de la mi-septembre, ont été insuffisantes pour permettre à l'ensemble du matériel de terminer son cycle. Ainsi les lignées les plus tardives ont le plus souffert du stress hydrique au moment des épiaisons. Deux sous blocs de la première répétition comprenant 13 lignées, ont particulièrement été marquées par ce stress hydrique (photo 2a : lignée BF 95-11/82). En effet, sur ces lignées qui ont en général présenté un cycle semis-floraison supérieur à 80 jours, nous avons suspecté des symptômes du clump (*Peanut clump Virus*) non observés sur le reste des lignées; malheureusement cela n'a pu être vérifié par des tests de virologie. Certaines lignées, même les plus précoces sont parvenues à maturité, les feuilles complètement desséchées; c'est le cas de la lignée BF 95-11/41 (photo 2b) qui a un cycle semis floraison (CSF) de 65 jours. Sur l'ensemble de l'essai, certaines plantes n'ont pu épier; celles parvenues à épiaison après le 27 septembre ont donné des panicules échaudées avec des grains mal formés. Cette situation a quelquefois rendu difficile les observations sur certains caractères qualitatifs, tels que la couche brune et la couleur du grain.

En raison de la sécheresse, cette campagne a été défavorable aux principales maladies cryptogamiques qui sont fréquemment observées sur le sorgho dans la zone; il en est de même

pour les insectes ravageurs des panicules de sorgho, plus particulièrement les punaises. Ainsi, les notations faites en collaboration avec l'équipe de phytopathologistes de la station de recherche de Farakobâ sur l'antracnose, les taches grises et les bandes de suie, montrent à quelques rares exceptions, de très faibles attaques de l'ordre de 2 à 10 % sur 94 à 99 % des lignées. Les faibles incidences de ces maladies ont conduit à éliminer ce critère dans les interprétations des résultats. Pour ce qui concerne les insectes ravageurs, on a relevé des attaques de *cécidomyie* sur les lignées tardives, mais leurs incidences n'ont pu être notées selon l'échelle de référence.

Quant aux moisissures des grains, l'humidité en fin de campagne n'a pas été favorable au développement des champignons responsables. Ainsi cette variable ne sera pas prise en compte dans l'analyse des résultats. L'expression de certains caractères a également été influencée par la sécheresse; c'est notamment le cas du poids des grains et le stay-green.



Photo 2a : lignée BF 95-11/82



Photo 2b : lignée BF 95-11/41

**TROISIÈME PARTIE :
ÉTUDE AGRO-MORPHOLOGIQUE
ET COMPOSITION CHIMIQUE DES
PAILLES DE 194 LIGNÉES
RECOMBINANTES DE SORGHO**

2. DOMAINE DE VALIDITÉ DES RÉSULTATS

Les résultats issus de ces travaux sont à considérer dans les régions où la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 700 et 900 mm (figure 3). Toutefois pour tenir compte de l'adaptabilité de ce matériel aux différentes régions de la zone, les lignées retenues selon nos critères de choix feront l'objet d'une évaluation participative auprès des populations rurales en vue d'une sélection définitive.

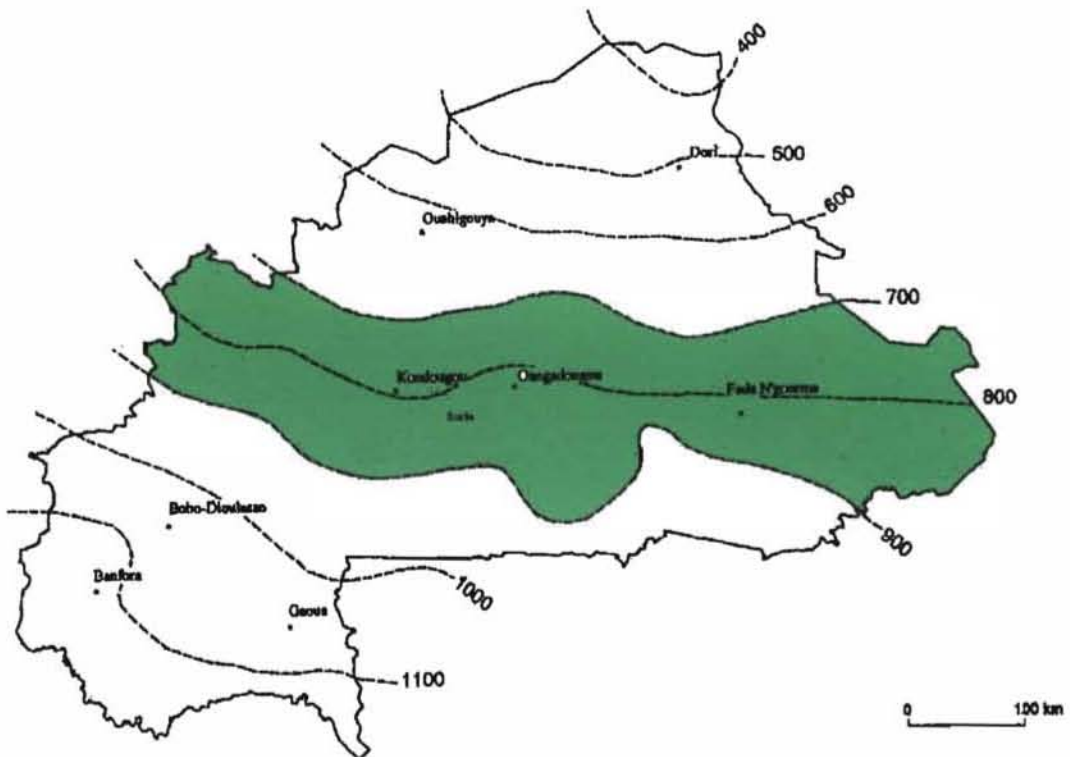


Figure 3 : pluviométrie moyenne annuelle du Burkina Faso de 1961 à 1990 (SOMÉ et SIVAKUMAR, 1994)

II. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR LES DONNÉES AGRONOMIQUES

1 RÉSULTATS

1.1. Examen de la normalité de la distribution des données parcellaires

Pour l'ensemble des variables quantitatives mesurées, nous avons procédé à la vérification de la normalité de la distribution des données parcellaires. Celles-ci sont représentées sous la forme d'histogrammes de fréquences (figure 4).

L'examen des histogrammes de fréquences montre une distribution normale des données parcellaires pour la majeure partie des variables. La normalité est également vérifiée pour les valeurs de brix1 et brix2, mesurées uniquement sur le parent *Sariaso* 10 afin de voir si la teneur en sucres des tiges varie en fonction des micro-variations du milieu de culture.

Trois variables présentent une distribution anormale : il s'agit du tallage basal utile (TBU), du diamètre de tige (DT) et du nombre de plantes récoltées par parcelle (NPLRE). Le tallage basal utile et le diamètre de tige ont un coefficient de symétrie (CS) positif et significativement différent de zéro; leurs histogrammes montrent une asymétrie de la distribution vers les faibles valeurs. Par exemple pour le tallage basal utile, 76 % des lignes ne présentent aucune talle. Pour le nombre de plantes récoltées par parcelle, le coefficient de symétrie est négatif et significativement différent de zéro. Ce défaut de normalité remet en cause l'exploitation des données pour l'analyse de variance.

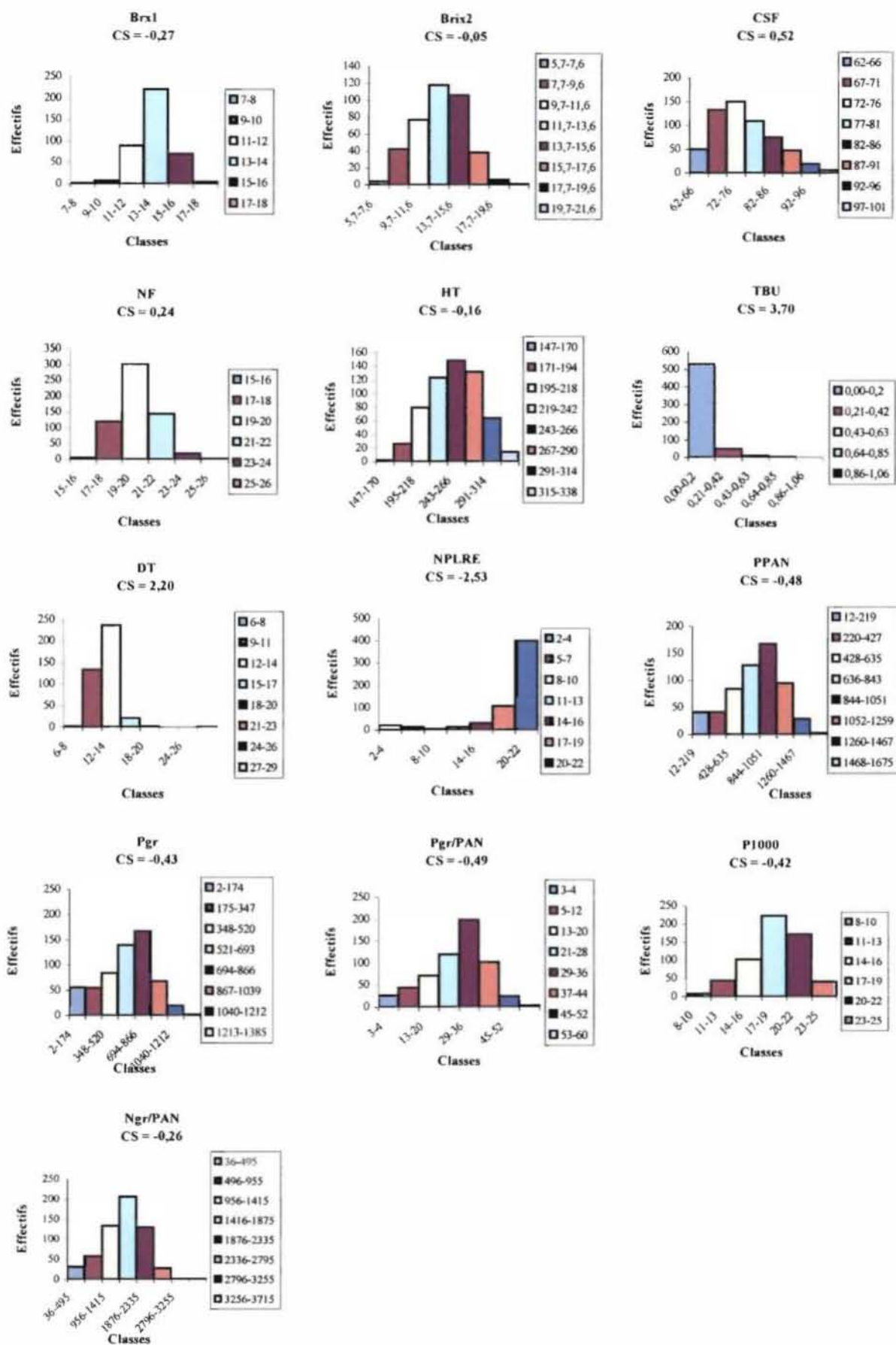


Figure 4 : histogrammes de la distribution des données parcelaires des variables agronomiques

1.2. Étude analytique des variables quantitatives

1.2.1. Paramètres descriptifs des variables agronomiques

Tableau V : paramètres statistiques de base des variables agronomiques

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type	Valeur moyenne <i>Sariaso 10</i>	Valeur moyenne <i>Pelogo (I)</i>
Brix1 (%)	9,9	16,6	13,5	1,4	13,3	13,5
Brix2 (%)	7,5	17,6	12,8	2,5	11,9	13,4
CSF (jrs)	63	97	76	8	76	74
NF	16	23	20	2	19	19
HT (cm)	181	314	252	34	190	314
TBU	0	0,5	0,1	0,1	0,0	0,2
DT (mm)	9,5	19,7	12,4	1,6	14,9	10,9
NPLRE	2,9	22,0	20,3	5,1	20,0	17,0
PPA (g)	36	1432	800	326	1026	1061
Pgr (g)	8	1136	609	276	892	801
Pgr/PAN	1,5	46,8	28,3	11,1	43	39
P1000 (g)	10	26	18,2	3,2	22	20
Ngr/PAN	151	2632	1525	556	1823	1987
Rgr (kg/ha)	24	3380	1811	820	2653	2383

NB : en rouge foncé les variables éliminées

Les paramètres statistiques : minimum, maximum, moyenne et écart type, présentés dans le tableau V, donnent une image de la diversité phénotypique pour chaque variable mesurée. Pour certaines variables telle que la durée du cycle semis-floraison (CSF), les poids des panicules (PPA) et des grains (Pgr), les valeurs extrêmes montrent des écarts importants avec les données parentales. Les analyses de variance permettront de mettre en exergue les caractères pour lesquels une différence existe entre les lignées.

1.2.2. Analyses de variance des variables agronomiques

La vérification de la normalité de la distribution a permis de retenir dix variables, dont les résultats des analyses de variance sont résumés dans le tableau VI.

Tableau VI : analyses de variance des variables agronomiques

Variabes	F Blocs	F Traitements	ETR	ETM	CV (%)	h²sl (%)
Brix1	1,7*	1,7***	1,2	0,8	8,7	26
Brix2	2,5*	2,7***	1,8	1,3	14,1	47
CSF	7,4***	32,2***	2,2	1,3	2,9	91
NF	1,3*	5,2***	0,8	0,4	3,9	72
HT	18***	8,8***	16,4	9,5	6,5	72
PPA	46,1***	8,3***	165	95,4	20,6	71
Pgr	38,7***	9,0***	136,5	78,6	22,4	72
Pgr/PAN	29,5***	8,1***	5,8	3,3	20,4	70
P1000	9,1***	6,5***	1,9	1,1	10,4	65
Ngr/PAN	5,1***	5,3***	342	198	22,5	59

* : F significatif au seuil de risque $\alpha = 0,05$

** : F significatif au seuil de risque $\alpha = 0,01$

*** : F significatif au seuil de risque $\alpha = 0,001$

ETR (écart type résiduel) = racine carrée du carré moyen de l'erreur effective

ETM (écart type à la moyenne) = ETR/racine carrée du nombre de répétition

L'analyse de variance met en évidence un effet variétal très hautement significatif pour tous les caractères.

L'écart type à la moyenne (ETM), fait ressortir une variation importante pour toutes les variables, à l'exception du nombre de feuilles (NF).

Le coefficient de variation (CV), présente des valeurs faibles pour la majorité des variables. Les CV les plus faibles sont obtenus avec le cycle semis-floraison et le nombre de feuilles. Les coefficients les plus élevés sont obtenus avec les variables liées à la production des grains.

L'analyse de variance sur les mesures du brix1 et brix2 réalisée sur le parent femelle *Sariaso* 10, a révélé que les micro-variations du milieu n'avaient pas d'effet significatif sur la teneur en sucres des tiges.

1.2.3. Héritabilité des caractères agronomiques

De l'ensemble des variables agronomiques, la durée du cycle semis-floraison (CSF) a présenté la plus forte valeur d'héritabilité (91 %). La plupart des variables a une héritabilité de 59 % à 74 %. Ces valeurs supérieures à 50 % indiquent que ces caractères sont intéressants pour la sélection. Les plus faibles valeurs d'héritabilité sont enregistrées avec les teneurs en sucres des tiges.

1.2.4. Corrélations phénotypiques entre les variables agronomiques

Les coefficients de corrélation évaluant le degré de relation entre les variables étudiées et établis à partir des valeurs moyennes des 194 lignées sont rapportés dans le tableau VII.

Tableau VII : corrélations entre les variables agronomiques

	brix1	brix2	CSF	HT	NF	PPAN	Rgr	P1000	Ngr/PAN	Pgr/PAN
brix1	1									
brix2	0,43***	1								
CSF	0,27**	0,54***	1							
HT	-0,08	0,09	-0,06	1						
NF	0,09	0,32***	0,75***	-0,05	1					
PPAN	-0,33***	-0,59***	-0,79***	0,06	-0,55***	1				
Rgr	-0,33***	-0,59***	-0,81***	0,03	-0,57***	0,99***	1			
P1000	-0,18	-0,26**	-0,65***	0,10	-0,48***	0,64***	0,67***	1		
Ngr/PAN	-0,35***	-0,60***	-0,66***	-0,04	-0,41***	0,86***	0,87***	0,37***	1	
Pgr/PAN	-0,34***	-0,57***	-0,77***	0,02	-0,53***	0,95***	0,97***	0,69***	0,90***	1

Test de Fisher

* = corrélations significatives au seuil de risque $\alpha = 0,05$

** = corrélations hautement significatives au seuil de risque $\alpha = 0,01$

*** = corrélations très hautement significatives au seuil de risque $\alpha = 0,001$

Les résultats du tableau VII font ressortir de nombreuses corrélations significatives entre les variables. Des liaisons positives fortes ($r \geq 80$) et très hautement significatives sont observées entre les variables de la production grains [poids des panicules (PPAN), poids des grains (Pgr), nombre de grains par panicule (Ngr/PAN), poids de grains par panicules (Pgr/PAN) et le poids de 1000 grains (P1000)] qui sont positivement corrélées entre elles. Ce groupe de variables a un lien négatif et hautement significatif avec la durée du cycle semis-floraison (CSF), le nombre de feuilles (NF) et la teneur en sucres des tiges (Brix2). Les variables de ce dernier groupe ont une corrélation positive entre elles, mais évoluent en sens inverse de celles de la production des grains. On remarquera que la hauteur de tige (HT) n'a aucune liaison avec l'ensemble des variables.

1.3. Examen des variables qualitatives

Les notations faites sur la couleur de la nervure centrale afin d'identifier les lignées qui présenteraient une nervure brune, indicateur d'une teneur en sucre importante, ont donné des résultats difficilement exploitables. Pour ce caractère, les couleurs observées sur certaines lignées ne sont pas homogènes; ainsi sur les 5 pieds choisis de la parcelle il arrive que les trois principales couleurs observées (blanc, vert, jaune) s'y retrouvent. Cette situation nous a conduit à éliminer ce caractère pour la suite de l'étude. L'expression du stay-green a été également très variable en fonction de la précocité du matériel. Quant aux caractères couleur des taches foliaires (CTF), couche brune (CB), compacité paniculaire (CPA) et couleur du grain (Cgr), le déterminisme génétique des deux parents n'étant pas connu avec certitude, nous avons préféré travailler avec les effectifs afin de voir si pour ce type de matériel il n'existe pas des distorsions de ségrégation. En effet, en l'absence de sélection dans une population de lignées recombinantes, les ségrégations pour deux formes alléliques d'un même locus sont attendues dans un rapport de 50 %-50 %.

Pour la couleur des taches foliaires 46,4 % des lignées sont tan, tandis que 53,6 % sont anthocyanées. Le test de khi-2 réalisé à cet effet a donné une valeur calculée de 0,93 avec une probabilité de 0,32; cette valeur calculée du khi-2 est bien inférieure à la valeur théorique qui est de 1,07. Cela montre que la différence n'est pas significative entre les deux fréquences.

Les proportions observées pour la couche brune sont de 72 % de lignées dont le grain est sans couche brune et 28 % sont à couche brune. Pour ce caractère, le test de khi-2 donne une valeur théorique de 30,5 avec une probabilité nulle; cette valeur calculée du khi-2 est supérieure à la valeur théorique de 7,9. Ce résultat montre que la différence entre les deux fréquences est très hautement significative.

Quant à la compacité paniculaire, les proportions observées sont assez proches de 50 %, pour les caractères parentaux; à savoir le type lâche qui aurait 52,7 % et le type semi-compacte 47,3 %.

Pour la couleur du grain au sein des cinq classes définies, l'analyse montre que 67 % des lignées ont des grains blancs (40 % des lignées présentent des grains sans taches d'anthocyane, tandis que 27 % sont tachés); 33 % des lignées ont obtenu des grains de couleur brune. Il faut cependant noter la présence de quelques matériels encore hétérogènes au sein des lignées. La diversité observée pour ce caractère est illustrée sur la photo 3.



Photo 3 : diversité paniculaire sur les lignées recombinantes

L'ensemble de ces caractères a conduit à douze types de combinaisons, dont le détail est donné en annexe III-2.

1.4. Classification des lignées

La classification a été faite sur la base des caractères agronomiques qui influencent le plus l'adoption des variétés en milieu réel notamment :

- le rendement grains élevé,
- la qualité du grain (vitrosité ≤ 3)
- la durée du cycle. Ainsi nous avons distingué trois groupes de lignées :

- **le premier groupe** comprend les lignées ayant un rendement grains moyen supérieur à celui du parent *guinée Pelogo I* (2383 kg/ha). Cela représente 22,2 % des lignées recombinantes.

- **12,4 % des lignées**, ont une qualité de grain jugée bonne, avec une vitrosité du grain ≤ 3 . Parmi les lignées constitutives de ce groupe **BF 95-11/104** est la meilleure avec un rendement de **3297 kg/ha**, un grain blanc peu tâché sans couche brune avec une vitrosité de 2,5 et une panicule semis lâche. Elle a en outre présenté le meilleur poids moyen de 1000 grains (23 g) devant les lignées **BF 95-11/96** et **BF 95-11/192** qui se sont classées respectivement deuxième et troisième pour la production en grains. Deux autres lignées ont obtenu une vitrosité inférieure ou égale à celle du meilleur parent *Pelogo I* (2,5) : il s'agit des lignées **BF 95-11/102** et **122** (tableau VIII).

- **9,8 %** sont productives mais la qualité de grains (vitrosité $\geq 3,5$) pourrait être insuffisante pour le tô. La lignée **BF 95-11/7** qui se classe en tête du groupe au bénéfice du meilleur poids moyen de 1000 grains avec un rendement de **3380 kg/ha**. Elle devance les lignées **BF 95-11/19** et **BF 95-11/14** qui pourtant lui sont supérieures en nombre de grains par panicule (NGR/PAN); elles obtiennent respectivement, **2968** et **2872 kg/ha**.

A l'exception de la lignée **BF 95-11/94**, le reste des lignées de ce groupe a présenté un **cycle semis-floraison** compris entre **64** et **76 jours** (en annexe III-3).

- **Le deuxième groupe** comprend les lignées dont le rendement grains est jugé passable à moyen : ≥ 1500 kg/ha et ≤ 2383 kg/ha. Cette catégorie regroupe **92 lignées**, soit **47,4 %** du matériel; parmi celles-ci :

- **21,6 %** des lignées ont des grains de bonnes qualités, avec une vitrosité des grains ≤ 3 . Deux lignées ont obtenu une qualité de grains (vitrosité = 2) supérieure à celle du parent mâle *Pelogo* (I), mais elles sont mal classées pour le rendement à cause de leur faible poids moyen de 1000 grains (17 g) pour **BF 95-11/30**, et du nombre de grains récoltés par panicule pour **BF 95-11/34**. Une autre lignée obtient une vitrosité de grains égale à celle du parent mâle *Pelogo* (I) : il s'agit de la lignée **BF 95-11/198**.

- **25,8 %** ont une vitrosité $\geq 3,5$ et de ce fait sont jugées insatisfaisantes pour le tô. L'ensemble de ce matériel a un cycle semis-floraison compris entre **63 et 86 jours**.

- **Dans le troisième groupe**, on retrouve les lignées dont le rendement grains est inférieur **1500 kg/ha**; ce groupe rassemble 59 lignées, soit **30,4 %** du matériel; parmi ces lignées :

- **6,2 % des lignées ont** des grains de bonnes qualités avec une vitrosité des grains ≤ 3 .
- **24,2 %** sont jugées insatisfaisantes avec une vitrosité des grains $\geq 3,5$. Dans ce groupe on retrouve des lignées à cycle très variable, mais reste supérieur à **70 jours**.

Tableau VIII : lignées recombinantes ayant un rendement grains > à 2383 kg/ha et une vitrosité ≤ 3

N° du pédigrée	brix1 (%)	brix2 (%)	CSE (jrs)	CSF (jrs)	DT (mm)	HT (cm)	NF	PPAN (g)	Pgr (g)	P1000 gr	VIT	Rgr kg/ha	Ngr /PAN	Pgr /PAN	NPAN /m²	NPL /m²	TBU	CTF	Cgr	CB	CPA	ST-G
BF 95-11/104	15,1	11,6	62	67	11,6	313	17	1391	1108	23	2,5	3297	1816	41,7	7,9	6,1	0,3	2	2	1	3	4
BF 95-11/96	10,7	11,6	73	76	13,5	263	20	1148	938	21	3	2790	1933	41,0	6,6	6,1	0,0	1	1	1	3	5
BF 95-11/192	14,1	12,1	64	67	10,6	281	18	1153	929	19	3	2766	1775	33,2	8,3	6,3	0,3	1	1	1	3	5
BF 95-11/79	13,4	10,7	73	76	12,5	202	19	1149	919	20	3	2735	2337	43,3	7,4	7,4	0,0	1	1	1	3	5
BF 95-11/126	13,2	13,9	67	70	11,9	272	18	1115	917	20	3	2728	2086	41,5	6,4	6,1	0,0	3	5	3	5	4
BF 95-11/9	13,5	14,5	67	70	12,6	260	20	1236	915	21	3	2722	1910	39,6	6,8	6,1	0,1	2	5	3	3	5
BF 95-11/187	14,7	9,7	71	74	12,2	253	18	1131	912	18	3	2713	2209	40,2	6,7	6,4	0,0	1	1	1	5	4
BF 95-11/68	15,7	12,1	68	71	13,7	259	18	1160	911	22	3	2711	2095	45,5	5,9	6,0	0,0	2	2	1	4	4
BF 95-11/61	12,7	13,9	69	71	12,9	292	18	1112	896	21	3	2667	1662	34,3	8,0	6,5	0,2	1	1	1	4	4
Sariaso 10	13,3	11,9	73	76	14,9	190	19	1026	892	22	3	2653	1824	42,7	6,0	6,1	0,0	1	1	1	5	3
BF 95-11/87	14,4	12,7	68	71	12,3	237	18	1094	890	18	3	2650	2195	39,9	6,6	5,7	0,2	1	1	1	4	4
BF 95-11/151	13,5	13,2	68	72	13,1	258	20	1138	883	21	3	2627	1649	34,5	7,4	6,1	0,2	2	2	1	5	4
BF 95-11/161	13,1	10,6	69	72	11,7	290	19	1134	881	17	3	2623	2237	39,4	4,0	6,2	0,0	2	2	1	5	4
BF 95-11/33	12,6	13,6	68	72	11,6	274	18	1117	880	26	3	2620	1624	40,7	6,7	6,6	0,0	3	5	3	5	3
BF 95-11/47	15,0	14,0	67	70	14,4	216	18	1061	872	22	3	2594	1923	41,2	6,3	6,0	0,0	2	2	1	4	4
BF 95-11/21	13,2	10,2	66	69	12,3	247	18	1105	870	17	3	2588	1925	36,2	7,0	6,4	0,0	3	5	3	4	5
BF 95-11/53	13,7	13,2	69	70	13,1	238	19	1064	863	21	3	2570	1840	38,8	6,4	5,6	0,1	3	5	3	5	4
BF 95-11/114	13,2	9,3	69	72	13,2	236	17	1053	854	18	3	2541	2264	40,0	6,2	5,5	0,2	2	2	1	4	4
BF 95-11/102	12,5	10,1	61	64	11,6	271	17	1123	842	17	2	2505	1818	32,3	7,9	6,3	0,2	2	2	1	3	4
BF 95-11/109	14,0	7,9	65	68	12,3	258	17	1084	840	17	3	2499	2087	36,3	6,8	6,4	0,0	1	1	1	3	5
BF 95-11/76	12,6	12,5	73	76	12,2	274	19	1089	834	19	3	2483	2144	38,1	7,6	7,2	0,0	2	2	1	5	4
BF 95-11/122	11,9	10,2	67	71	12,5	247	18	1109	818	18	2,5	2435	1739	32,0	7,5	5,5	0,4	2	2	1	5	4
BF 95-11/40	11,9	9,2	64	67	12,2	291	17	1022	812	21	3	2418	1825	37,3	6,7	6,2	0,0	2	1	1	3	5
BF 95-11/194	13,6	13,5	68	71	11,9	293	19	1161	807	20	3	2402	1636	33,5	6,9	6,0	0,2	2	2	1	5	4
BF 95-11/166	12,0	10,4	67	71	10,7	285	19	1006	803	17	3	2391	2086	39,9	5,8	5,9	0,0	2	2	1	3	4

2. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

La vérification de la normalité de la distribution des valeurs parcellaires a conduit au retrait de l'analyse de variance des variables : diamètre de tige (DT), tallage basal utile (TBU), nombre de plantes récoltées (NPLRE). Pour le tallage basal utile, le défaut de normalité constaté est comparable aux résultats de CHANTEREAU, 1993; TROUCHE et BARRO, 1995 avec des techniques culturales assez similaires. Cette tendance dépendrait du type de matériel végétal utilisé CHANTEREAU (1993). Quant au défaut de normalité constaté sur la dernière variable, il pourrait être la conséquence du stress hydrique et des attaques de *cécidomyies* sur les lignées épiées à la fin de la saison des pluies dans les conditions d'alimentation hydrique déficientes.

Les résultats des analyses de variance ont mis en évidence une variabilité phénotypique importante et un effet génétique hautement significatif pour tous les caractères. Cette variabilité qui avait été remarquée au champ, explique un bon niveau de recombinaison entre les deux parents.

Des valeurs d'héritabilité enregistrées avec les variables liées à la production du grain, seul le nombre de grains par panicule (Ngr/PAN) à une faible valeur, ceci traduit le fait que ce caractère soit plus influencé par les conditions environnementales. Les héritabilités enregistrées sur les brix1 et brix2 montrent que ce caractère est peu héritable et sur lequel on pourra difficilement sélectionner. Par contre les variables qui ont des valeurs d'héritabilités supérieures à 50 % expriment une part plus importante des gènes dans l'établissement du caractère.

En ce qui concerne les coefficients de corrélations, les liaisons positives et très hautement significatives entre les paramètres du rendement et le rendement grains sont classiques chez le sorgho et étaient attendues tout comme celle entre le nombre de feuilles et la durée du cycle. La forte corrélation entre le rendement et le poids de grain par panicule est justifiée par le fait que cette dernière variable est la combinaison des deux autres paramètres du rendement : le nombre de grains par panicule et le poids de 1000 grains; de ces deux paramètres le nombre de grains par panicule a le plus fort lien avec le rendement. Par ailleurs il est toujours démontré dans le cas du sorgho qu'il existe une relation positive entre le

rendement grains et le nombre de grains par panicule (KIRBY et ATKINS, 1968, REDDY et NAGUR, 1981, cités par CHANTEREAU, 1993).

La corrélation positive trouvée entre la durée du cycle semis-floraison (CSF) et le nombre de feuilles est conforme aux résultats trouvés par COCHEMÉ et FRANQUIN (1967), CHANTEREAU (1993); ce qui montre que chez les plantes, en C4, le nombre de feuilles augmente avec la durée du cycle chez les plantes sensibles à la photopériode.

Les valeurs de corrélations ont également mis en évidence une liaison négative entre la durée du cycle et le rendement grains. Ce résultat diffère de celui de CHANTEREAU (1993) qui dans les conditions d'alimentation hydrique non limitant a trouvé une relation positive et significative ($r = 0,10^*$) entre ces deux variables. Cela s'explique par le fait que les lignées tardives (30 % du matériel avec un CSF > 80 jours) ont souffert du déficit hydrique en fin de cycle et ont été défavorisées dans l'élaboration du rendement.

Tout comme le cycle semis-floraison, le lien négatif entre le rendement et le brix1 et brix2, expliquerait une faible migration des substances organiques dans les grains des lignées les plus tardives (grains mal formés) au profit de leur pailles. VICTOR et MILLER (1990), cités par CHANTEREAU et *al.*, (1999), avaient trouvé également une relation négative entre le rendement grains et le brix, traduisant ainsi la difficulté des sucres à se conserver dans les pailles à maturité complète du grain.

Dans notre essai, on remarque, que certaines lignées classées dans le deuxième groupe, ont un nombre de grains par panicule, supérieur ou presque égal aux meilleures lignées pour le rendement grains, mais restent défavorisées par leur poids moyen de 1000 grains : il s'agit des lignées BF 95-11/49; 50; 51; 60 qui réalisent chacune un nombre de grains par panicule supérieur à 2000, mais ont un poids moyen de 1000 grains variant entre 14 et 18 g.

Pour ce qui concerne les rendements grains, ils ne sont pas très élevés à cause des effets de la sécheresse; il y a le fait qu'il n'ont pas été obtenus avec la densité de semis habituellement qui est de 93750 plantes à l'hectare pour ce type de matériel. Cependant la comparaison dans les mêmes conditions permet d'avoir une vue d'ensemble du comportement des lignées recombinantes.

En ce qui concerne les caractères qualitatifs, les recombinaisons sont nombreuses. Les distorsions observées pour la couleur des taches foliaires sont significatives; elles mettent en évidence un biais dans l'obtention des lignées recombinantes pour ce caractère. La raison est

que les plantes anthocyanées sont généralement plus vigoureuses à la levée (SAPIN, 1983). Ainsi, elles auraient été conservées par le biais d'un choix non contrôlé correspondant à ce génotype au moment du démariage dès les premières générations.

Concernant la couche brune (B1B1, B2B2), sa présence dans 28 % des lignées recombinantes est justifiée par la composition allélique des deux parents possédant chacun un des gènes dominants.

La présence de grains bruns, observés chez les lignées recombinantes, est le résultat d'un péricarpe jaune YY avec la présence de couche brune; cela explique le fait que l'un des parents aurait un péricarpe jaune.

A ce stade de la sélection l'existence de quelques hétérogénéités peut être le fait de contamination accidentelle de pollens, à cause d'auto fécondations mal réalisées en 1999 (sacs enlevés par le vent ou déchirés après les pluies et non remplacés tôt le matin).

L'ensemble des résultats agronomiques donne au niveau du rendement grains : 17 lignées, soit 8,8 % du matériel qui sont plus productives que le meilleur parent *Sariso* 10 (2653 kg/ha), tandis que 43 lignées (22,2 % du matériel) sont plus productives que le parent mâle *Pelogo* (I). Ces lignées ont présenté en générale un cycle semi-floraison inférieur ou égal à celui du parent *Sariso* 10 (76 jours).

En ce qui concerne la vitrosité du grain, 78 lignées soit 40 % du matériel ont une vitrosité de grain (2 à 3) meilleure ou égale à celle des deux parents (3 pour *Sariso* 10 et 2,5 pour *Pelogo* I). Cependant ce critère reste insuffisant pour juger de la qualité du grain pour le tô. Pour les lignées présentant des grains de faible vitrosité ou farineux (3,5 à 5) elles ont pour la plus part des grains à couche brune ou mal formés et ont un cycle semi-floraison (CSF) supérieur à 80 jours.

Sur la base des critères de sélection définis (rendement grains supérieur à celui de *Pelogo* (I), vitrosité du grain ≤ 3 et durée du cycle semis floraison \leq à celui des parents, 24 lignées soit 12,4 % du matériel ont été jugées prometteuses. La lignée BF 95-11/104 est la meilleure avec un rendement grains de 3297 kg/ha; elle a comme autres atouts une bonne grosseur du grain (23 g), une vitrosité de 2,5, un grain blanc sans couche brune et une panicule semi-lâche qui le préserverait des moisissures de grains.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR LES DONNÉES FOURRAGÈRES

1. RÉSULTATS

1.1 Examen de la normalité de la distribution des données parcelaires

Les histogrammes des figures 5a, 5b et 5c présentent la distribution des données parcelaires des principaux constituants chimiques, de digestibilité et de production de la paille.

L'examen des histogrammes montre une distribution partout normale des données parcelaires pour les feuilles.

Pour les tiges et la paille entière, la normalité est vérifiée pour les parois totales (NDF) et ses principaux constituants (ADF et ADL) ainsi que pour la solubilité de la matière organique (SMO). Ces variables présentent un coefficient de symétrie (CS) assez proche de zéro. Les distributions pour les matières azotées totales (MAT), le rapport feuilles sur tiges (F/T) et les phénols (PH), sont légèrement déséquilibrées vers les valeurs inférieures mais les coefficients de symétrie montrent une tendance à la normalité, ce qui n'empêche pas l'analyse statistique de ces variables. Quant à la matière organique (MO), la distribution observée pour les tiges et les feuilles est acceptable, par contre celle de la paille entière est complètement déséquilibrée vers les valeurs supérieures avec un coefficient de symétrie de -2,10, ce défaut de normalité empêche la réalisation de l'analyse de variance.

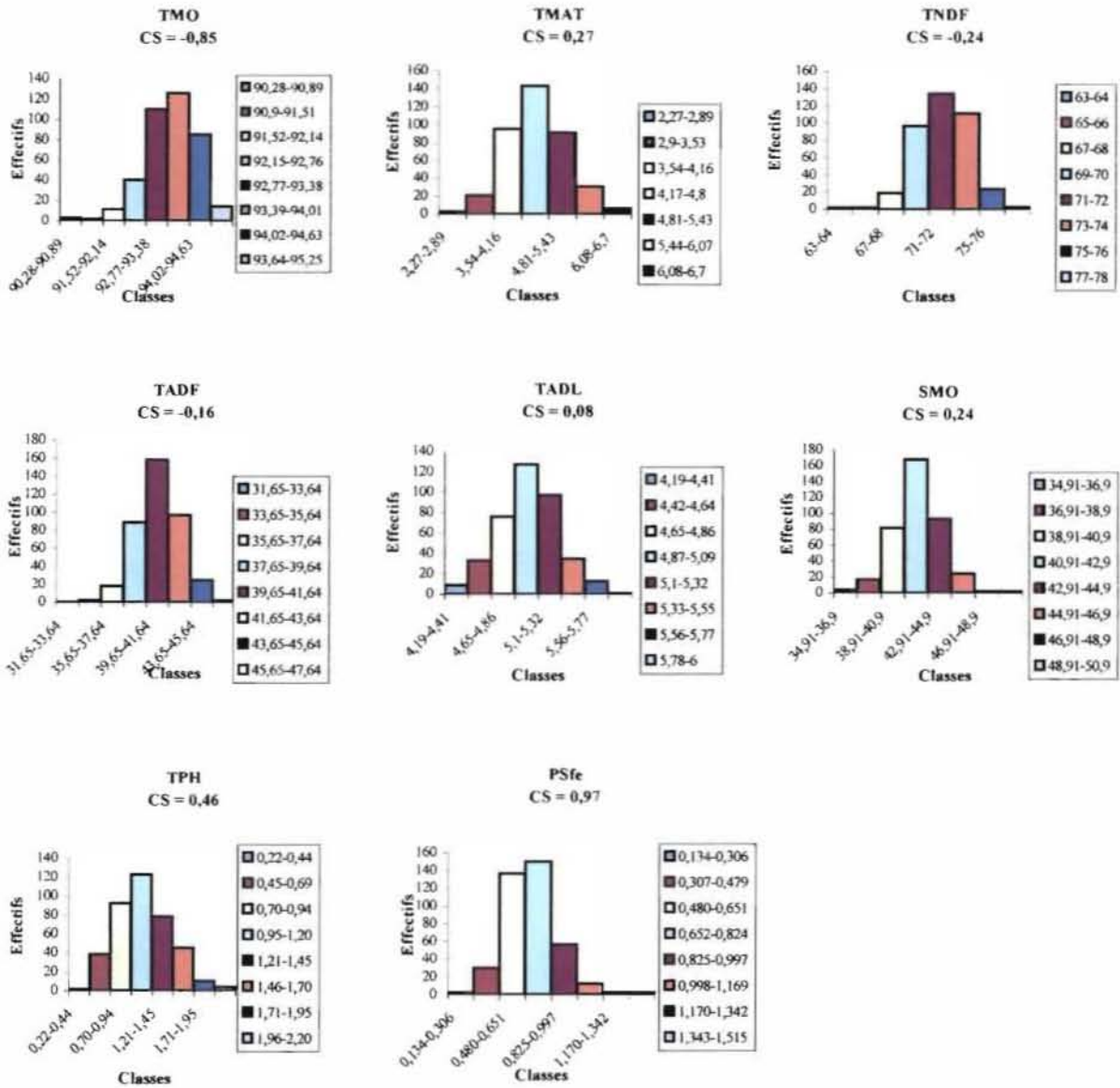


Figure 5a : histogrammes de la distribution des données parcellaires des feuilles

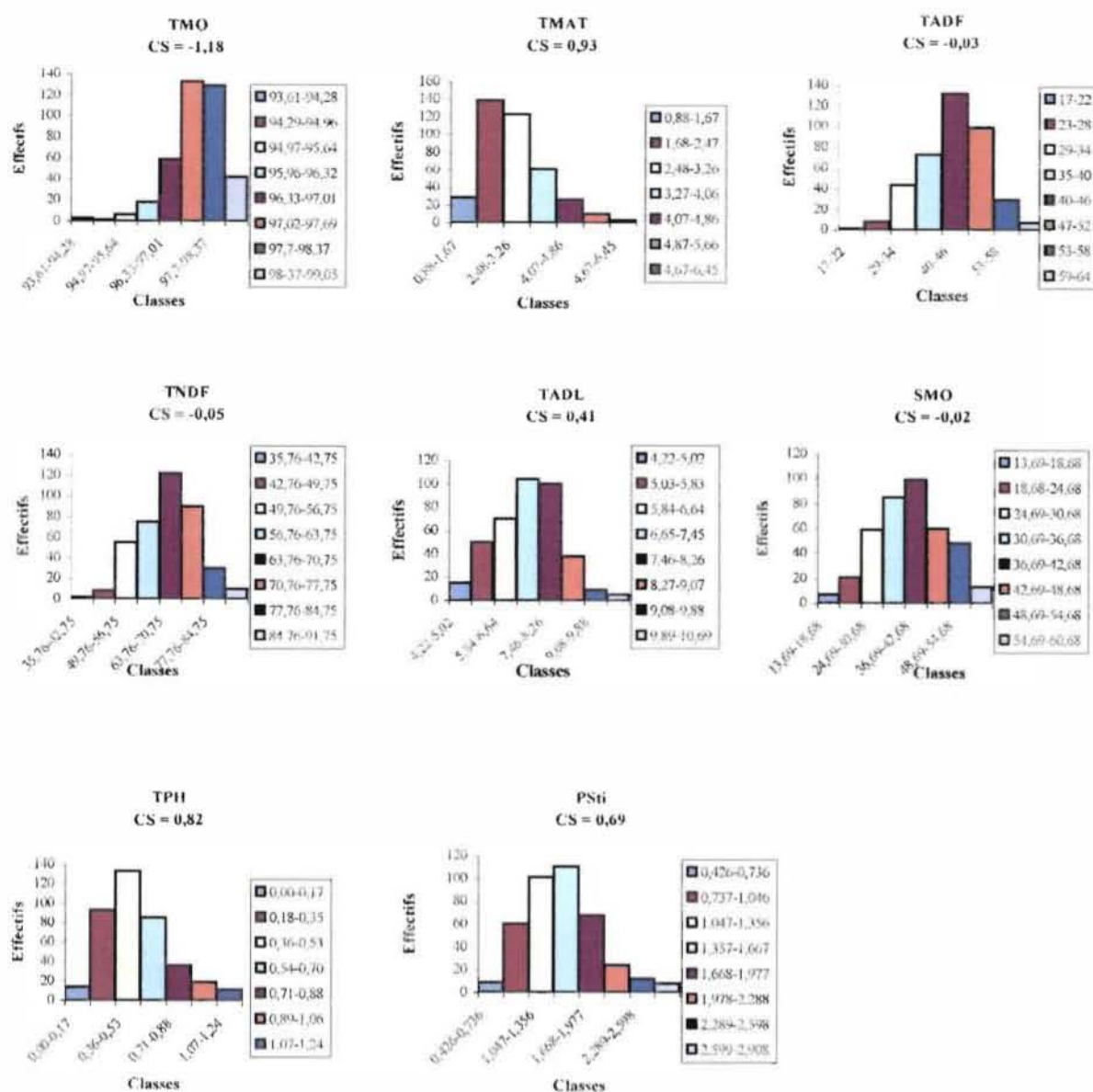


Figure 5b : histogrammes de la ditribution des données parcelaires des tiges

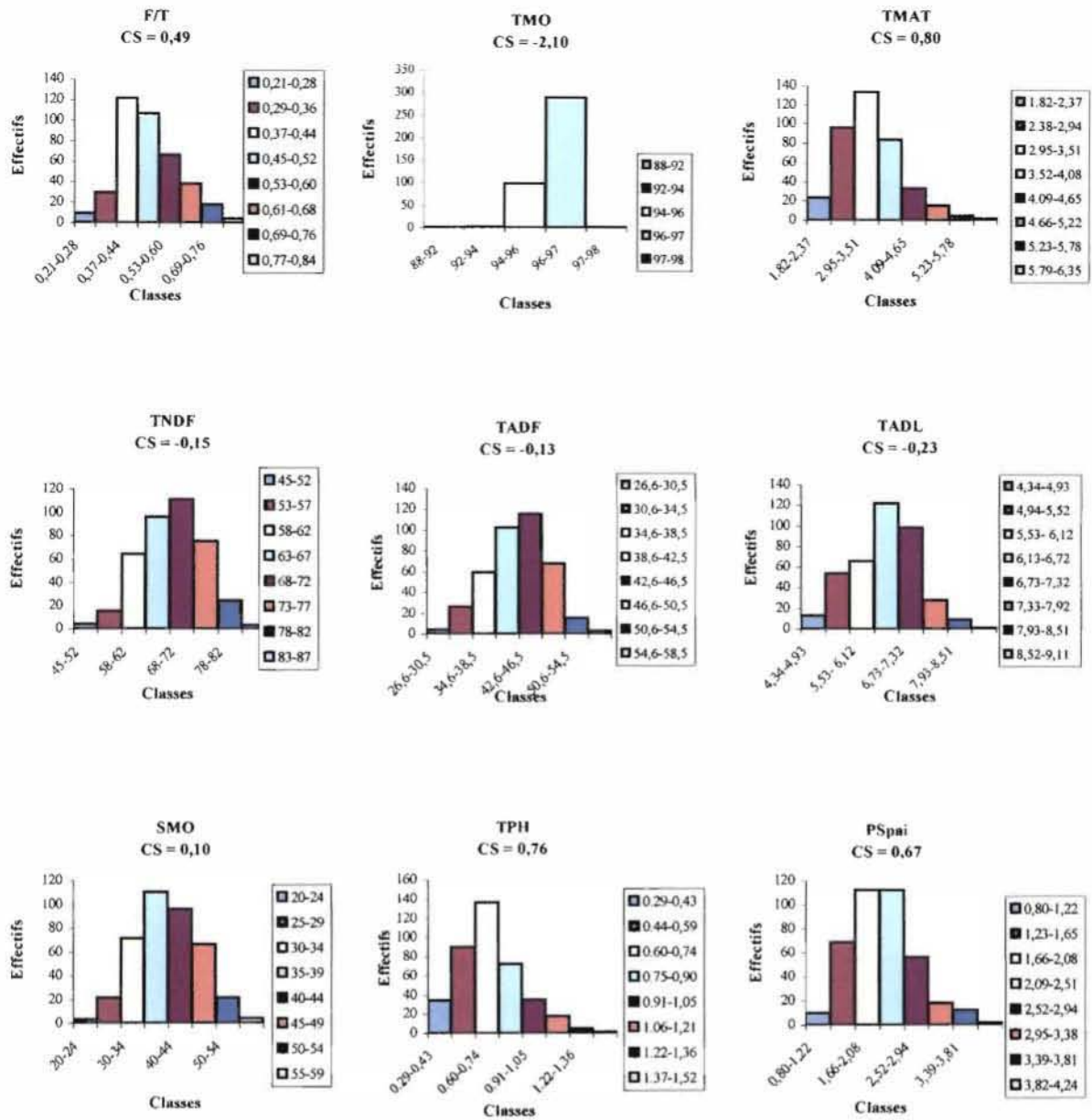


Figure 5c : histogrammes de la distribution des données parcelaires des pailles

1.2. Étude analytique des variables fourragères

1.2.1. Paramètres descriptifs des variables fourragères

a. Comparaisons entre feuilles et tiges

Tableau IX: composition chimique des feuilles et des tiges des 194 lignées recombinantes de sorgho (teneurs moyenne et extrêmes)

Type d'organe	TMM	TMO	TMAT	TNDF	TADF	TADL	TPH	SMO
	Teneurs en g/kg de MS						(% MO)	(%)
Feuilles	65 49-79	935 921-951	46 24-70	726 650-774	407 339-455	50 43-58	1,1 0,4-2	42 37-50
Tiges	25 11-49	975 951-989	28 14-56	665 466-870	435 262-602	71 42-101	0,5 0,1-1,2	38 16-60

De façon générale ces paramètres montrent que la composition chimique diffère entre les feuilles et les tiges.

Les feuilles ont des teneurs plus élevées que les tiges en MAT : en moyenne 46 g contre 28 g pour les tiges; elles sont également plus fournies en éléments minéraux : 65 g/kg de MS contre 25 g dans les tiges. Malgré leurs teneurs élevées en phénols, elles ont en moyenne une meilleure solubilité que les tiges. Quant à leur teneur moyenne en parois totales, elle est plus élevée que celle des tiges; tandis que celles en ligno-cellulose et en lignine (ADF, ADL) sont plus faibles que celles des tiges.

b. paramètres descriptifs de la paille entière

Tableau X : paramètres statistiques de base des variables de la paille entière

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type	Valeur moyenne <i>Sariso 10</i>	Valeur moyenne <i>Pelogo (I)</i>
F/T	0,25	0,80	0,49	0,10	0,67	0,40
TMO (g/kg MS)	929	974	962	0,8	953	967
TMAT (g/kg MS)	21	57	34	0,7	28	34
TNDF (g/kg MS)	520	835	684	6,4	690	746
TADF (g/kg MS)	288	554	425	5,1	418	471
TADL (g/kg MS)	43	87	64	0,8	62	71
SMO (100 MO)	23	56	39	6,4	39,2	33,4
TPH (% MO)	0,4	1,3	0,7	0,2	0,6	0,5
QPAI/Parcelle (g)	984	3719	2146	0,6	1820	1946
RDTP (kg/ha)	2927	11 069	6386	1728	5416	5791

Les valeurs du tableau X montrent que les pailles ont des teneurs moyennes en matières azotées totales (MAT) faibles (34 g/kg de matière sèche) et des tissus riches en parois totales (684 g). Cette forte teneur en fibres s'accompagne d'une faible solubilité de la matière organique (39 %); la teneur moyenne en phénols (0,6) est inférieure au seuil d'interaction (1 %) avec les paramètres de digestibilité. Elles ont également de faibles teneurs en minéraux totaux (38 g).

Concernant la production en paille, les valeurs extrêmes indiquent une diversité importante entre les lignées; le rendement moyen reste tout de même élevé (6386 kg/ha).

1.2.2. Analyses de variance des variables fourragèresa : résultats des feuilles et des tiges**Tableau XI : analyses de variance des composants chimiques des feuilles et tiges**

Facteurs		F blocs	F Traitements	ETR	ETM	CV (%)	h ² sl (%)
Feuilles	TMO	3,5*	2,0***	0,6	0,4	0,6	34
	TMAT	0,8*	2,9***	0,5	0,3	10,8	49
	TNDF	22,8***	3,0***	1,4	1,0	1,9	50
	TADF	14,2***	3,3***	1,3	0,9	3,2	53
	TADL	10,0***	4,1***	0,2	0,1	3,6	61
	SMO	13,0***	3,0***	1,4	1,0	3,3	50
	TPH	32,6***	3,1***	0,2	0,1	19,2	52
	Quantité par parcelle	0,2*	2,3***	142	101	20	62
Tiges	TMO	9,3***	3,6***	0,5	0,4	0,5	56
	TMAT	6,5**	2,7***	0,7	0,5	24,9	45
	TNDF	2,7*	8,2***	4,1	2,9	6,2	78
	TADF	0,0*	7,4***	3,4	2,4	7,8	76
	TADL	0,1*	6,2***	0,6	0,4	8,4	72
	SMO	0,3*	7,2***	4,5	3,2	11,8	76
	TPH	1,1*	3,3***	0,2	0,1	32,4	53
	Quantité par parcelle	0,1*	2,3***	342	242	23	40

* : F significatif au seuil de risque $\alpha = 0,05$ ** : F significatif au seuil de risque $\alpha = 0,01$ *** : F significatif au seuil de risque $\alpha = 0,001$

b : résultats de la paille entière

Tableau XII : analyse de variance des composants chimiques de la paille entière

Variables	F blocs	F Traitements	ETR	ETM	CV (%)	h ² sl (%)
F/T	2,2*	3,3***	0,1	0,1	15,9	53
TMAT	4,7**	2,6***	0,5	0,4	15,8	45
TNDF	5,1***	7,5***	3,1	2,2	4,5	77
TADF	0,5*	7,0***	2,5	1,8	5,9	75
TADL	0,3*	6,2***	0,4	0,3	6,6	72
SMO	0,0*	7,0***	3,2	2,3	8,1	75
TPH	3,1*	3,0***	0,1	0,1	20,4	51
Quantité Par parcelle	0,1*	2,3***	0,4	0,3	20,8	40

Tout comme les variables agronomiques, l'analyse fait ressortir un effet variétal très hautement significatif pour toutes les variables mesurées. Les valeurs de l'ETM montrent que cette différence est moins grande avec les feuilles qu'avec les tiges et la paille entière. Pour ces dernières, la variabilité est plus importante pour les NDF, ADF et la SMO.

Les plus faibles CV sont obtenus avec les constituants pariétaux et la matière organique; tandis que les valeurs les plus élevées sont observées avec les variables évaluant la production de la paille et les phénols.

1.2.3. Héritabilité des caractères fourragers

Les plus fortes héritabilités sont observées avec les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) et la solubilité de la matière organique (SMO). Elles sont plus fortes avec les tiges et la paille entière qu'avec les feuilles; par contre les héritabilités ont été faibles avec les teneurs en MAT.

1.2.4 Corrélation entre les variables fourragères

Les valeurs des coefficients de corrélation entre les variables de la paille et ses composantes sont rapportées dans le tableau XIII.

Tableau XIII : corrélations entre les différentes variables fourragères

a : feuilles

	TMO	TMAT	TNDF	TADF	TADL	SMO	TPH
TMO	1						
TMAT	0,01	1					
TNDF	0,23*	-0,84***	1				
TADF	0,15	-0,63***	0,87***	1			
TADL	0,36***	-0,17	0,46***	0,59***	1		
SMO	-0,15	0,61***	-0,76***	-0,78***	-0,67***	1	
TPH	0,10	0,66***	-0,76***	-0,69***	-0,29**	0,42***	1

b : tiges

	TMO	TMAT	TNDF	TADF	TADL	SMO	TPH	Brix2
TMO	1							
TMAT	-0,08	1						
TNDF	0,08	-0,34***	1					
TADF	0,08	-0,40***	0,99***	1				
TADL	0,07	-0,47***	0,97***	0,98***	1			
SMO	-0,06	0,39***	-0,98***	-0,98***	-0,97***	1		
TPH	-0,28**	0,27**	-0,62***	-0,61***	-0,51***	0,60***	1	
Brix2	0,34***	0,39***	-0,53***	-0,55***	-0,57***	0,56***	0,22*	1

c : pailles entières

	F/T	TMAT	TNDF	TADF	TADL	SMO	TPH
F/T	1						
TMAT	0,02	1					
TNDF	0,37***	-0,33***	1				
TADF	0,27**	-0,40***	0,98***	1			
TADL	0,13	-0,45***	0,93***	0,97***	1		
SMO	-0,29**	0,38***	-0,98***	-0,98***	-0,96***	1	
TPH	-0,10	0,38***	-0,59***	-0,58***	-0,51***	0,57***	1

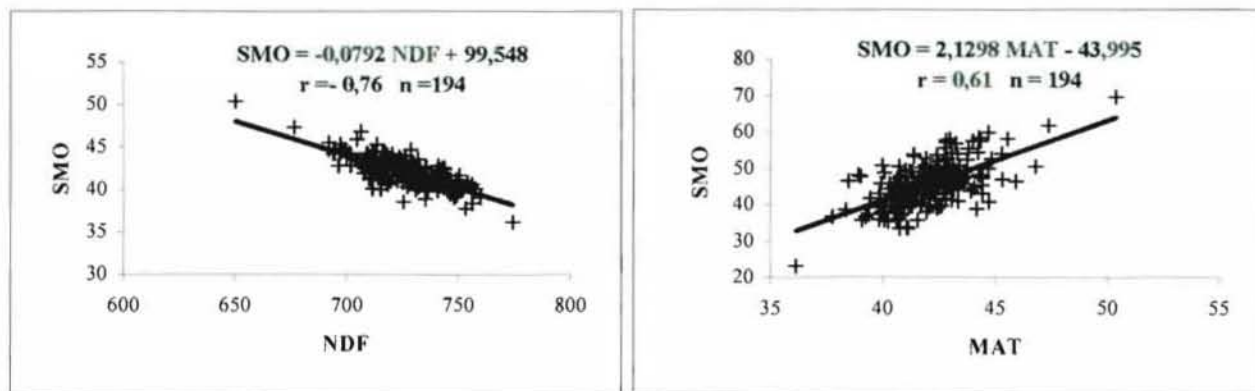
Les données du tableau XIIIa, montrent des corrélations positives et très hautement significatives entre les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) des feuilles. La liaison entre NDF-ADF ($r = 0,87$) est plus forte, que celles qui lient ces deux variables à l'ADL. Les variables SMO, MAT, Phénols ont un lien positif et très hautement significatif entre elles; elles évoluent dans le sens inverse des constituants pariétaux.

Pour le tableau XIIIb, les résultats font ressortir de nombreuses corrélations significatives entre les variables. Les liaisons entre les constituants pariétaux et MAT, SMO, phénols et brix2 sont négatives et très hautement significatives. Le lien entre les constituants pariétaux et la SMO est plus fort; toute augmentation des teneurs en parois diminue celle de la SMO.

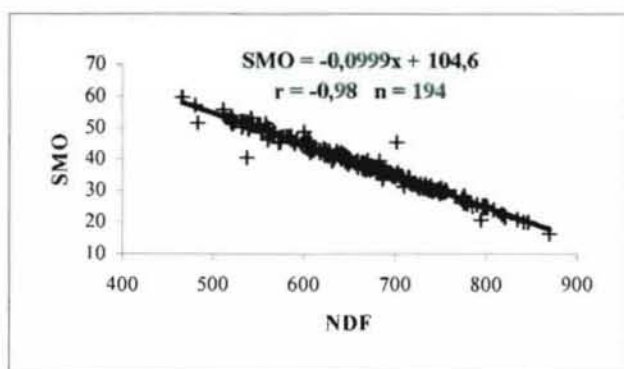
Quant aux résultats des pailles entières (tableau XIIIc), les relations entre les différents constituants chimiques et de solubilité de la matière organique (SMO) suivent l'évolution de celles des tiges.

De l'ensemble des résultats de corrélations entre les différentes variables, on remarque que les teneurs en parois totales (NDF) sont les facteurs les plus limitants de la SMO. La SMO reste également très influencée par les MAT dans les feuilles. Ainsi les valeurs de la SMO peuvent être prédites à partir des teneurs en NDF pour les tiges et pailles entières et en plus des MAT pour les feuilles (figure 6).

Feuilles



Tiges



Pailles entières

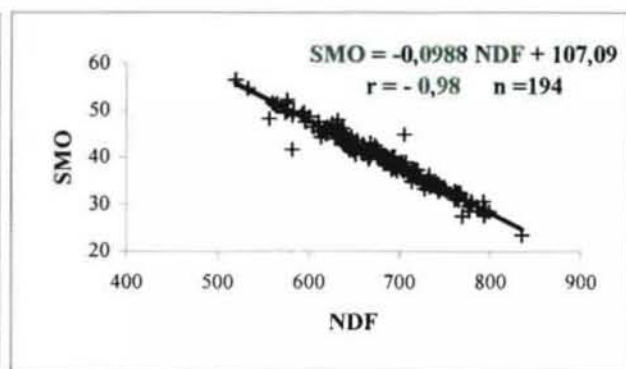


Figure 6 : relations entre la solubilité de la matière organique et les parois totales (SMO-NDF) et entre la solubilité de la matière organique et les matières azotées totales (SMO-MAT)

1.3. Classification des lignées pour leur valeur fourragère

Les critères qui ont prévalu à la classification des lignées, sont basés sur les caractères qui ont une plus grande influence sur la valeur fourragère. Il s'agit de la teneur en parois totales (NDF), de la solubilité de la matière organique (SMO), de la teneur en matières azotées totales (MAT) et de l'apport en protéines totales à l'hectare.

Si nous considérons la valeur intrinsèque de chaque lignée recombinante, les résultats obtenus sur les pailles et ses composantes feuilles et tiges sont les suivants :

1.3.1. Feuilles

- 115 lignées, soit **59 %** du matériel, ont une **teneur en MAT** supérieure à celle du meilleur parent ***Pelogo I* (44 g/kg de MS)**. Dans ce lot, la lignée **BF 95-11/160** se classe en tête avec **70 g de MAT/kg de MS**; elle est suivie des lignées BF 95-11/36 et 42, qui ont respectivement 62 et 60 g de MAT/kg de MS. Du point de vue apport en protéines totales à l'hectare, 100 lignées soit 51 % du matériel sont supérieures au meilleur parent ***Sariaso 10* (92 kg/ha)**. Six lignées apportent plus de 150 kg/ha de protéines totales. Il s'agit des lignées BF 95-11/89, 27, 10, 156, 42 et 160; ce qui représente un gain de + 64 à + 91 % par rapport au meilleur parent. Les résultats obtenus par les quatre premières lignées sont beaucoup plus attribuables à la production totale en feuilles qu'à leur teneur en MAT, ce qui n'est pas le cas pour les lignées BF 95-11/42 et 160. Parmi toutes ces lignées, seules BF 95-11/10 et 42 ont une proportion de feuilles supérieure à 50 % dans la matière sèche totale; les autres lignées ont entre 41 et 48 %.

- Pour la (SMO), 30 lignées soit **15 %** du matériel, ont une dégradabilité supérieure à celle du meilleur parent ***Sariaso 10* (43 %)**. Dans ce matériel une seule lignée a une valeur de **50 %**, il s'agit de la lignée **BF 95-11/160**; elle est suivie des lignées BF 95-11/36 et 175 qui ont chacune une valeur de 47 %.

- Pour les teneurs en NDF, l'ensemble des lignées se caractérise par des fortes teneurs en parois, aussi la moyenne en NDF est supérieure à celle des tiges. La lignée **BF 95-11/160** a la plus faible teneur en parois (**650 g/kg de MS**) de l'essai.

- Quant à la production totale de la matière sèche, les lignées BF 95-11/6, 89, 27, 10 et 145 ont des rendements supérieurs à 3 t/ha, soit une plus value de + 47 à + 66 % du meilleur parent *Sariaso 10* (2139 kg/ha). Elles apportent les quantités les plus élevées de l'essai en matière organique.

1.3.2. Tiges

- 66 lignées, soit **34 %** du matériel ont une **teneur en MAT** supérieure à celle du meilleur parent *Pelogo I* (**30 g/kg de MS**). Les plus fortes teneurs de l'essai au delà de **50 g/kg de MS** sont obtenues avec les lignées **BF 95-11/42, 163 et 43** qui réalisent respectivement **56 g, 51 g et 50 g de MAT/kg de MS**. Quant à l'apport en protéines totales à l'hectare, 75 lignées soit 38 % du matériel, ont un apport supérieur à celui du meilleur parent *Pelogo I* (122 kg/ha). Les meilleures productions au delà de 250 kg par hectare, sont réalisées par les lignées BF 95-11/106, 156, 42, 36 et 149, qui ont des gains situés entre + 107 et + 159 % du parent *Pelogo I*. L'apport de la lignée BF 95-11/42 est lié à sa teneur en MAT plutôt, qu'à sa production; ce qui n'est pas le cas avec les autres lignées.

- Pour la solubilité de la matière organique (SMO), 102 lignées, soit **52 %** du matériel, ont une dégradabilité supérieure à celle du meilleur parent *Sariaso 10* (**37 %**). Dans ce matériel, 23 lignées ont une dégradabilité $\geq 50 \%$, parmi les quelles les lignées **BF 95-11/106, 175 et 119** obtiennent respectivement **60, 57 et 56 %**.

- Des teneurs en NDF, 107 lignées soit **55 %** du matériel, ont une teneur \leq à la meilleure teneur NDF pour les feuilles (**650g/kg de MS**); c'est la lignée **BF 95-11/106** qui présente la plus faible teneur (**466 g**).

- Les rendements les plus élevés sont obtenus avec les lignées BF 95-11/106, 27, 89, 39, 142 et 6 avec plus de 7 t/ha, soit des gains allant de + 71 à +94 % par rapport au meilleur parent *Pelogo I* (4074 kg/ha); elles ont les meilleurs apports en matière organique de l'essai.

- Pour la teneur en sucres des tiges, 84 lignées, soit 43 % du matériel, ont une valeur supérieure à celle du meilleur parent *Pelogo I* (13,4 %). Les lignées BF 95-11/179, 3, 28, 146, 92 ont chacune une valeur $\geq 17 \%$ de Brix.

1.3.3. Pailles entières

- 79 lignées, soit **40 %** du matériel, ont une **teneur** en matières azotées totales (**MAT**) supérieure à celle du meilleur parent ***Pelogo I* (34 g)**. Trois lignées ont des teneurs supérieures à **50 g/kg** de MS, ce sont : les lignées **BF 95-11/42, 163 et 28**. Du point de vue apports protéiques à l'hectare, 111 lignées soit **57 %** du matériel ont un apport supérieur à celui du parent ***Pelogo I* (197 kg/ha)**. Dans ce groupe, les lignées BF 95-11/42, 156, 106 et 36 s'illustrent en apportant une plus value de + 107 à + 138 % par rapport au meilleur parent.

- Concernant la solubilité de la matière organique (SMO), 97 lignées, soit **50 %** du matériel ont une teneur supérieure à celle du meilleur parent ***Sariaso 10* (39 %)**. Dans ce lot 12 lignées ont une SMO $\geq 50 \%$; les lignées BF 95-11/106, 175, 119 et 36 sont les meilleures avec des teneurs allant de 52 à 56 %.

- Quant à la teneur en parois totales, 20 lignées, **soit 10 %** du matériel, ont des valeurs de **NDF ≤ 600 g**. Parmi ces lignées on retrouve toutes les meilleures lignées qui ont une solubilité élevée de la matière organique. La lignée BF 95-11/106 avec une teneur de 520 g/kg de MS est la meilleure.

- Pour le rapport feuilles sur tiges (F/T) 94 lignées, soit **48 %** du matériel, ont un rapport feuilles sur tiges $\geq 0,50$. Parmi ces lignées 9 ont un ratio feuilles sur tiges \geq à celui de ***Sariaso 10*** le meilleur parent (F/T = 0,67); malheureusement ces lignées qui ont obtenu les meilleurs résultats pour ce caractère ont des teneurs faibles en MAT, une SMO réduite pour la plus part d'entre elles, avec des teneurs en NDF souvent élevées et une production des pailles très variable. Cependant leurs faibles teneurs en MAT font que la contribution en protéines totales à l'hectare est souvent faible.

- Les rendements pailles les plus élevés sont obtenus avec les lignées BF 95-11/27, 89, 6, 106 et 39 qui obtiennent plus de 10 tonnes/ha; soit une plus value de + 73 à + 91 % par rapport au meilleur parent ***Pelogo I* (5791 kg/ha)**. Elles apportent également les plus fortes quantités de matière organique de l'essai. Un résumé des meilleures lignées pour la paille et ses composantes feuilles et tiges, est donné en annexe III-4 (a, b et c).

Si nous comparons la composition chimique des deux parents du croisement, *Sariaso 10* part avec un léger **avantage sur *Pelogo (I)*** pour les teneurs en NDF des **feuilles** et des **tiges (729 et 665 g/kg de MS contre 741 et 749 g/kg de MS)**. Elle présente une meilleure solubilité de la matière organique aussi bien au niveau des feuilles que des tiges (**43 % et 37 % contre 41 % et 30 % à *Pelogo I***). Par contre sa teneur en MAT pour les feuilles et les tiges, est légèrement inférieure à celle de *Pelogo I* (**43 et 20 g/kg de MS, contre 44 et 30 g/kg de MS**). Comparée à *Pelogo (I)*, les feuilles de *Sariaso 10* apportent une quantité plus importante en protéines totales à l'hectare (92 kg) au bénéfice d'un meilleur rapport feuilles sur tiges (F/T = 0,67). Quant à la quantité de protéines apportée par les tiges, *Pelogo (I)* qui a obtenu un rapport feuilles (F/T) de 0,44 apporte 122 kg/ha contre 63 kg à *Sariaso 10*. En ce qui concerne la composition chimique de la paille entière, *Sariaso 10* a une teneur en parois totales (NDF) plus faible (**690 g/kg de MS**) et une valeur de solubilité de la matière organique (SMO) plus élevée (**39 %**). Par contre pour la teneur en matières azotées totales (MAT) et en **protéines totales à l'hectare, *Pelogo (I)* est meilleure** avec respectivement **34 g/kg de MS et 197 kg/ha** contre **28 g/kg de MS et 156 kg/ha**.

2. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Les résultats du tableau IX, ont mis en évidence une plus grande diversité dans la composition chimique des tiges, que dans celles des feuilles. Cette diversité est beaucoup plus importante avec les parois totales et la SMO qu'avec les autres variables.

La teneur moyenne en parois totales (NDF) est plus faible dans les tiges que dans les feuilles et la paille entière; tandis que celles en ADF et en ADL sont plus faibles dans les feuilles comparativement aux teneurs des tiges. Cette variation s'expliquerait par le fait que les feuilles soient plus riches en parenchymes chlorophylliens (hémicelluloses) qui sont des parois plus digestes, alors que les tiges sont riches en tissus de soutien fibreux et peu digestes.

On remarque aussi que les teneurs en parois sont plus élevées dans les lignées précoces que dans celles à cycles plus tardifs. Par ailleurs, certains auteurs qui ont eu à travailler sur les graminées annuelles (KABORÉ-ZOUNGRANA, 1995; DOULKOUM, 2000), ont montré que les teneurs en NDF évoluaient positivement avec l'âge de la plante. Sans doute les meilleures teneurs relevées sur les lignées tardives sont liées à la mauvaise

croissance des plantes. Comparativement à d'autres céréales comme l'avoine, le blé et l'orge la teneur moyenne des pailles entières en NDF (684 g) est faible; celles-ci présentent respectivement des teneurs moyennes de 730, 800 et 810 g/kg de MS (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987).

Dans cet essai, les teneurs moyennes en matière azotées totales (MAT) et en minéraux totaux sont faibles. Elles sont en moyenne plus élevées dans les feuilles que dans les tiges et les pailles entières. Une des raisons qui explique les faibles teneurs en MAT est le fait que le séchage s'est déroulé au soleil, en supposant les conditions du milieu réel. Certes, cela permet d'avoir une meilleure vue de la concentration en protéines totales des lignées lorsque celles-ci se retrouveront dans les conditions de conservation du milieu réel. Cette baisse est bien illustrée par les valeurs du parent femelle *Sariaso 10*. En effet, séchée à l'ombre sa paille entière a une valeur moyenne de 51 g/kg de MS (NIANOGO et *al.*, 2000) contre 28 g dans cet essai; soit une baisse de 45 % en MAT. Les valeurs extrêmes trouvées dans l'essai (21-57 g) sont comparables à celles d'autres céréales, telles que le blé, l'orge et l'avoine qui ont respectivement 15-61 g; 25-70 g et 9-47 g de MAT/kg de MS (ANDRIEU et DEMARQUILLY, 1987).

La valeur moyenne en phénol des pailles entières est faible. La comparaison entre feuilles et tiges, montre que les feuilles ont en moyenne des teneurs en phénols plus élevées; cette situation est due aux effets du stress hydrique qui a causé des lésions importantes au niveau des feuilles. MANNERS et *al.*, (1991), cités par KABORÉ-ZOUNGRANA (1995), ont montré que la déficience en eau et en nutriments du sol favorise la synthèse des phénols.

Nos résultats ne prenant pas en compte la plante entière, ils ne peuvent être comparés aux graminées annuelles; mais à titre indicatif les graminées annuelles apportent entre 34 et 83 g pour les MAT et 775 g de NDF (KABORÉ-ZOUNGRANA, 1995). Ainsi, les valeurs rapportées par DOULKOUM (2000) sur des andropogonées sont presque similaires : 49-98 g en MAT et 680-725g de NDF/kg de MS.

Les valeurs d'héritabilités de la matière organique (MO) et des matières azotées totales (MAT) sont faibles; cela traduirait une plus grande influence des conditions du milieu sur ces composantes chimiques de la paille.

Les valeurs de corrélations ont mis en évidence que la solubilité de la matière organique (SMO) est dépendante de la teneur en parois totales (NDF). Pour les feuilles la teneur en MAT a une influence plus importante sur la SMO que chez les tiges; en outre leur teneur en phénols aurait contribué à diminuer leur solubilité.

Les liaisons entre SMO-NDF étaient attendues et sont similaires à celles trouvées par BUTTERMORTH (1967); MINSON (1972). LAKSERSVELA et SAÏD (1978) cités par KABORÉ-ZOUNGRANA (1995).

Quant aux pailles entières, les différentes teneurs de la composition chimique et les valeurs de digestibilité suivent l'évolution de celles des tiges, du fait de leur contribution plus importante dans la matière sèche totale.

La liaison entre le brix² (teneurs en sucre des tiges) et la SMO est positive et très hautement significative. Ainsi, les glucides simples qui sont considérés comme des sucres assimilables, sont des facteurs de variation de l'utilisation des tiges. Plus la teneur est élevée dans les tiges, plus forte sera la digestibilité de la matière organique et son utilisation animale.

Du point de vue production, le rendement moyen de l'essai est très élevé (6386 kg/ha); il est en partie lié aux plantes tardives qui n'ont pratiquement pas produit de grains.

Pour l'aspect fourrager de l'étude, l'analyse des résultats feuilles, tiges et pailles entières, a permis de mettre en évidence les relations qui existent entre les principaux constituants et leur influence sur la valeur alimentaire des pailles. Il ressort de cette analyse, qu'un grand nombre de caractères ségréguent indépendamment. De l'ensemble des caractères qui influencent le plus la valeur fourragère (NDF, MAT, SMO), certaines lignées ne s'illustrent que par un seul caractère favorable; ce qui ne facilite pas une classification des lignées. Seules les teneurs en SMO apparaissent souvent liés aux teneurs en NDF. Ainsi si l'on tient compte des normes (valeurs) requises pour une bonne valeur fourragère (teneur des MAT ≥ 70 g/kg de MS, teneur en NDF ≤ 600 g/kg de MS et une valeur de SMO ≥ 50 %), aucune des 194 lignées recombinantes ne cumule les critères favorables pour être distribuée comme seul aliment. Cependant L'utilisation du fourrage par les animaux est confrontée au problème de tri, expliquant le fait que souvent les valeurs ingérées soient supérieures à celles distribuées.

Les meilleures lignées de l'essai pour leur teneur en NDF et la valeur de SMO sont celles qui ont une production paille élevée. Elles présentent les plus faibles teneurs en parois,

une meilleure solubilité de la matière organique, une teneur en sucre des tiges plus élevées, et les plus fortes teneurs en matières azotées totales.

Quant à la valeur individuelle des lignées on peut retenir :

- **Pour les feuilles** : la lignée BF 95-11/160 est la meilleure pour sa teneur en MAT (70 g/kg de MS), sa faible teneur en parois totales (650 g/kg de MS) et pour sa valeur élevée de SMO (50 %); elle a un des meilleurs apports de l'essai en protéines totales (151 kg/ha).

- **Pour les tiges**, la lignée BF 95-11/106 est la meilleure du fait de sa valeur élevée de SMO (60 %), sa faible teneur en NDF (466 g/kg de MS). Sa contribution en protéines totales est la plus élevée (316 kg/ha).

- **Pour les pailles entières**, une dizaine de lignées a été retenue sur la base de leur teneur en MAT, en NDF, en SMO ou de leur apport en protéines totales à l'hectare; ce sont : les lignées **BF 95-11/36, 42, 80, 81, 106, 110, 119, 146, 149, 160** (Annexe III-4c).

Quant au reste du matériel, son utilisation ne peut se concevoir qu'après complémentation avec les sous produits agricoles et/ou agro-industriels riches en MAT; ce qui permettrait un apport minimum nécessaire au fonctionnement des micro-organismes du rumen responsables de la digestion des aliments.

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR LES DONNÉES AGRONOMIQUES ET FOURRAGÈRES

1. RÉSULTATS

Les analyses multivariées ACP et AFC (figures 7 et 8), ont servi d'une part, à établir les relations entre les différentes variables et d'autre part, à voir quelle est la nature des liaisons entre les modalités des variables. Ceci a permis d'avoir une vue d'ensemble sur le comportement des lignées au plan agronomique et fourrager.

Une synthèse des résultats a été faite sur la base des caractères qui influencent le plus l'adoption des variétés en milieu réel, afin d'identifier parmi les 194 lignées recombinantes celles qui associent le plus de qualité au plan agronomique et fourrager suivant nos objectifs de sélection.

1.1. Discrimination des variables par l'ACP

L'analyse a été réalisée avec quatorze variables quantitatives. La figure 7 donne une synthèse de l'information initiale. Les cinq premiers axes factoriels rendent compte de 83 % de la dispersion des mesures (tableaux XIV).

Tableau XIV : caractérisation des cinq premiers axes de l'ACP

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Valeur propre	7,09	1,98	1,77	0,96	0,71
Taux d'inertie	0,47	0,13	0,12	0,06	0,05
Taux cumulé	0,47	0,60	0,72	0,79	0,83

Sur la première figure (7a), les deux premiers axes représentent 60 % de l'inertie totale. L'axe 1 oppose nettement les variables de la production du grain et des teneurs en NDF, à la durée du cycle semis-floraison, au rendement paille et des composantes chimiques de la paille, MAT, Brix2, SMO et PH.

Le plan défini par l'axe 1 et 3 (figure 7b), montre que les constituants pariétaux manifestent un comportement qui les rapproche des variables de la production du grain. La variable hauteur de tige est opposée au rapport feuilles sur tiges.

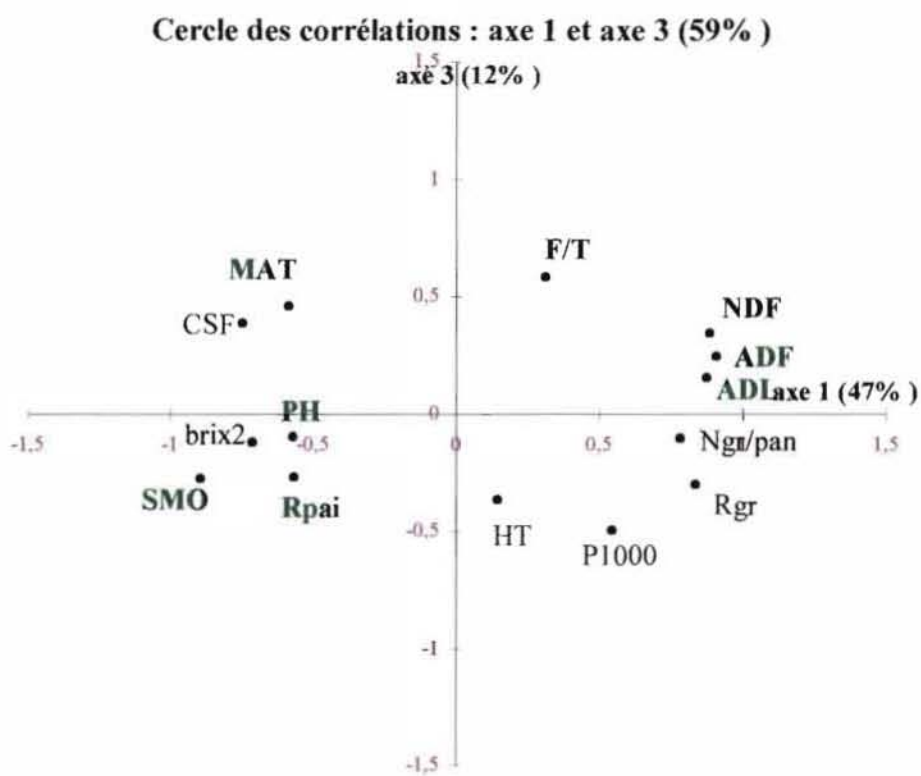
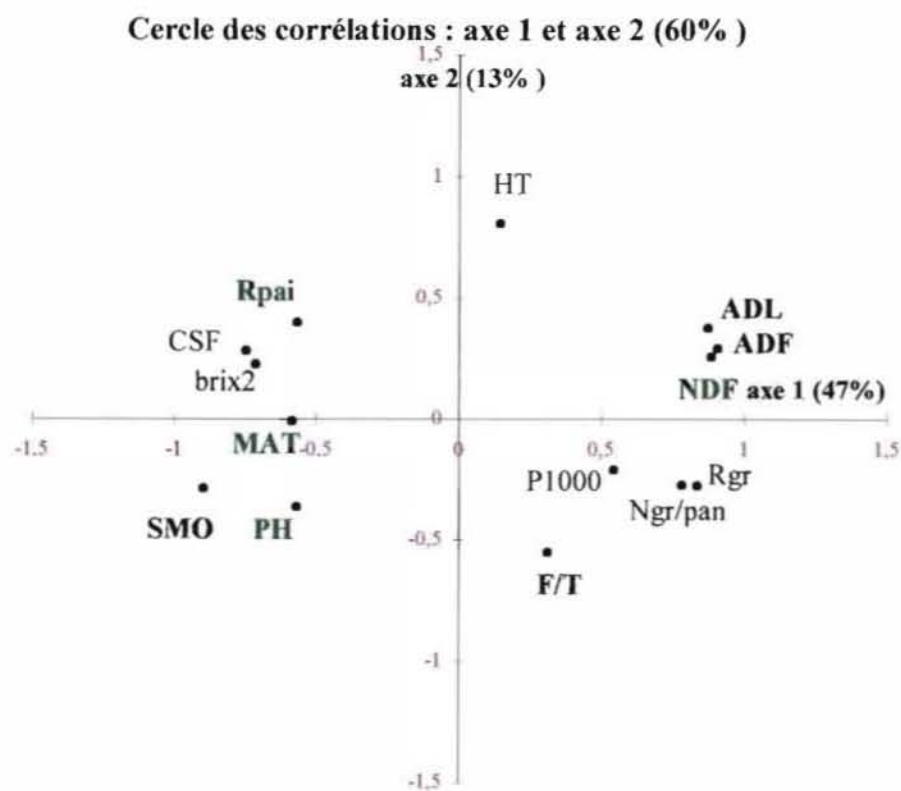


Figure 7a et 7b : ACP sur le plan des axes 1x2 et 1x3. En vert les variables fourragères

1.2. Analyse de la variabilité des descendance par l'AFC

L'AFC a été réalisée à partir des valeurs moyennes des 194 lignées recombinantes avec 16 variables quantitatives et qualitatives. Ces variables ont été décomposées en 42 modalités et les différentes classes constitutives consignées en annexe III-6.

Les cinq premiers axes de l'AFC décrivent 51 % de la variabilité totale. Les trois premiers axes représentent respectivement 20 %, 10 % et 8 %, soit 38 % de l'inertie totale.

Sur la figure 8a, l'axe 1 est défini à la fois comme l'axe des rendements et des parois (NDF et ADL). Les rendements grains étant plus ségrégatifs que les rendements pailles. Cet axe oppose :

- Les lignées à rendements grains élevés (Rgr/3), caractérisées par un cycle court (CSF/1) et un gros grains (p 1000/3) vitreux (vit/1). Elles présentent en outre une faible production de la paille (Rpai/1), un rapport feuilles sur tiges élevé (F/T/2), des teneurs faibles : en sucres (brix/1), en matières azotées totales (MAT/1), des teneurs en parois élevées (NDF/3 et ADL/3), des valeurs de solubilité de la matière organique faibles (SMO/1).

- Aux lignées à rendement grains faibles (Rgr/1), qui ont un cycle long (CSF/3), un grain farineux (vit/2) et de faible poids (p 1000/1). Ces lignées se caractérisent par une production de la paille élevée (Rpai/3), un faible rapport feuilles sur tiges (F/T/1), des teneurs élevées : en sucres (bri/2), en matières azotées totales (MAT/3), des teneurs faibles en parois (NDF/1 et ADL/1) et des valeurs élevées de solubilité de la matière organique (SMO/3).

L'axe 2 se présente comme l'axe des caractères qualitatifs : stay-green (ST-G) et couche brune (CB). Il est déterminé par les deuxièmes modalités des variables Rgr/2, CSF/2, MAT/2, NDF/2, ADL/2, SMO/2 et Rpai/2. Ces modalités représentent 63 % de l'inertie portée par cet axe.

Le pourcentage d'explication porté par l'axe 3 est faible (8 %). Cet axe est défini comme étant l'axe des hauteurs de tiges. Il explique les modalités : Rgr/2, p 1000/2, MAT/2.

La figure 8b présente la répartition des individus. Le plan 1 x 2 montre les individus qui ont une plus grande influence sur l'un des axes; trois groupes de lignées ont été mis en évidence :

l'axe 1 oppose les meilleure lignées de la valeur fourragère aux meilleures lignées agronomiques pour le rendement grains et la durée du cycle mais qui ont une faible valeur nutritive de la paille.

Sur l'axe 2, on retrouve les lignées qui ont une valeur moyenne pour le rendement grains et la valeur fourragère, avec toute fois un léger rapprochement de certaines lignées pour les aspects agronomiques ou fourragers.

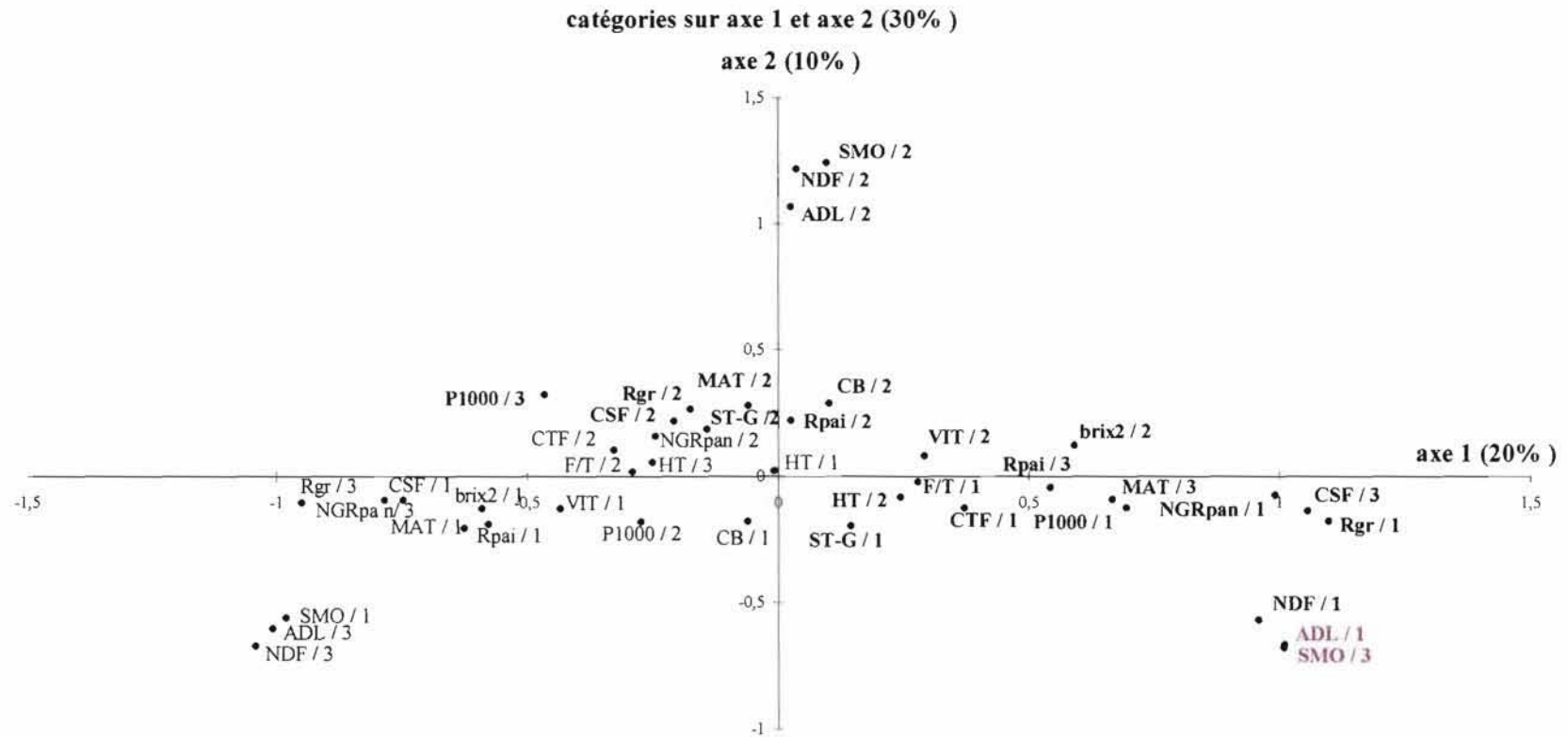


Figure 8 a : représentation des modalités des variables de l'AFC dans le plan 1 x 2, en gras les variables agronomiques et en vert les variables fourragères significatives. En violet, les variables qui ont les mêmes points

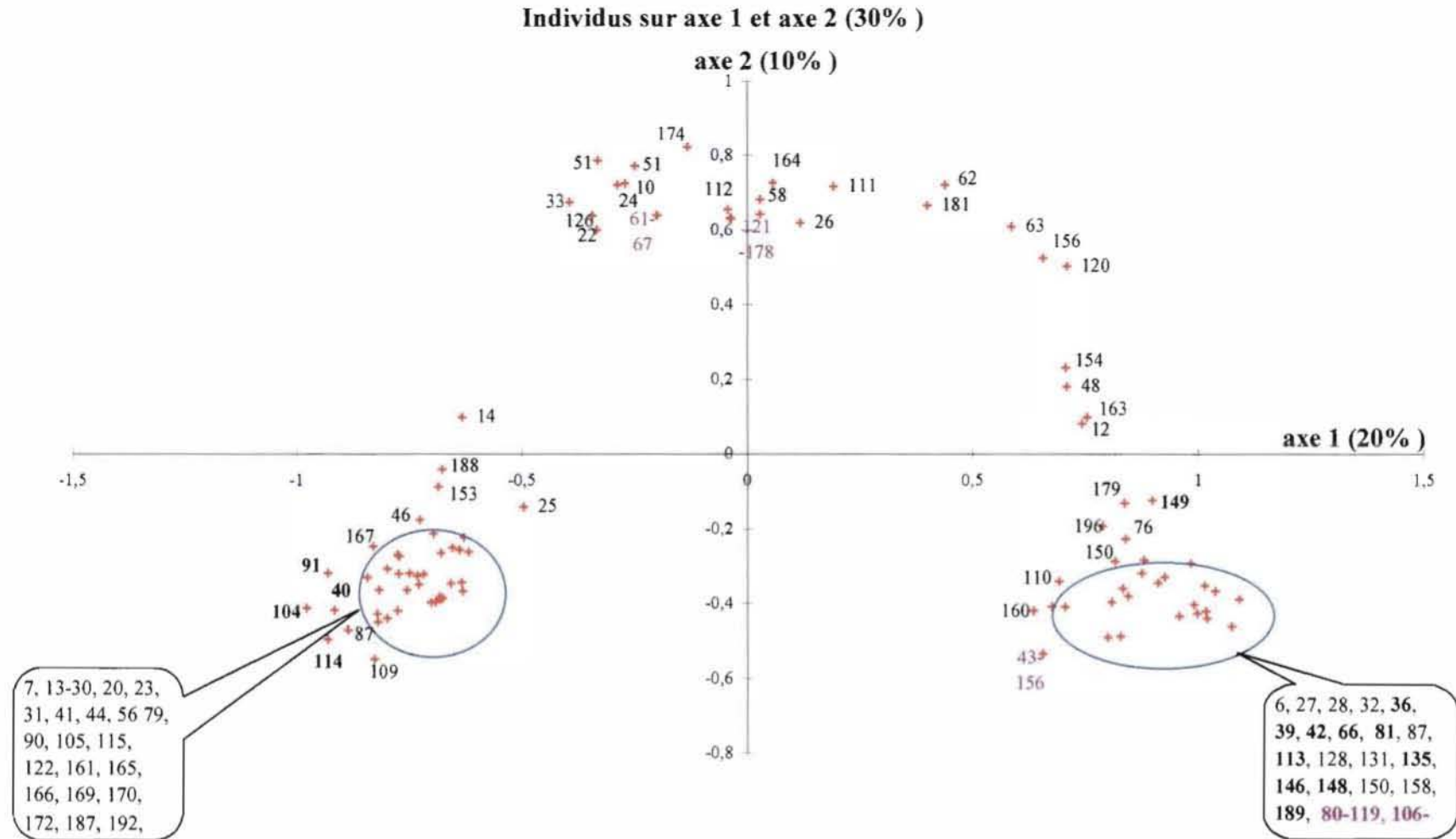


Figure 8b : représentation des individus dans le plan 1 x 2 de l'AFC, en violet les individus qui ont les mêmes points; en gras, les individus qui ont une forte influence sur un des axes

2. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Le constat que nous faisons des résultats agronomiques et fourragers, est que la plus part des caractères agronomiques évoluent en sens inverse des caractères fourragers. Exception faite de quelques relations, comme celles entre la production grains et les parois (NDF, ADF, ADL) et celles entre les MAT et la vitrosité du grain. Dans ce dernier cas le lien s'explique par le fait que la couche d'aleurone du grain est riche en protéines (FLIEDEL *et al.*, 1996). La relation négative qui existe entre la production des grains et de pailles trouve son explication dans leurs relations respectives avec la durée du cycle semis-floraison. Il est apparu que les meilleures lignées pour le rendement paille sont les plus tardives avec un cycle semis-floraison (CSF) supérieur à 80 jours et un rapport feuilles/tiges inférieur à 0,50; les moins productives ont un CSF plus précoce de 65 à 70 jours c'est le cas de la lignée BF 95-11/41 qui a la plus faible production paille de l'essai (2927 kg/ha) avec un CSF de 65 jours.

Ce résultat est conforme à celui de CHANTERAU (1993), qui dans des conditions de semis précoces et d'alimentation hydrique non limitant, a trouvé un lien positif et hautement significatif entre la production paille et le cycle ($r = 0,74^{**}$). Cependant il diffère quant à la relation entre la production de grains et de pailles, où l'auteur a trouvé une relation positive et hautement significatif ($r = 0,39^{**}$). L'indice de récolte, qui mesure la répartition de la matière sèche entre les organes récoltés $[(\text{poids de grains}/\text{poids de pailles} + \text{grains}) \times 100]$, aurait permis de porter un jugement sur l'efficience de la croissance si toute fois les récoltes de grains et de pailles avaient concerné le même nombre de répétitions. Ces faits montrent qu'une analyse des conditions de production est nécessaire, pour mieux expliquer la relation entre la production de grains et de pailles dans cet essai.

En effet, les physiologistes ont montré que pour une plante en C4, sa capacité de production (même si celle-ci est limitée génétiquement), dépend de son poids, de la durée de son cycle et de ses réserves nutritives cumulées au cours de sa croissance. Ainsi, lorsque toutes conditions sont égales par ailleurs (fertilité, humidité, insolation etc.), le potentiel de production des plantes à cycle long est plus élevé en grains et en pailles que celui des plantes à cycle court (COCHEMÉ et FRANQUIN, 1967). La raison est que les plantes à cycle long ont une période plus longue pour réaliser la photosynthèse qui est une des conditions importantes dans l'élaboration des rendements; ce qui leur permet d'accumuler plus de

réserves nutritives, d'où un potentiel de production de matière sèche plus élevé. Une plante d'un poids important qui fournit peu d'organes à la récolte traduit une mauvaise efficacité de la croissance. Lorsque les semis sont réalisés tardivement et la pluviosité de la campagne déficiente, au moment où les plantes atteignent leur croissance maximale (période entourant la floraison), les besoins en éléments nutritifs (eau, lumière, minéraux etc.) sont à leur maximum. Toutes mauvaises conditions entourant les 15-20 jours de la période pré-florale et post florale, entraînent une réduction importante du nombre de fleurs formées et un mauvais remplissage. Les courbes de la figure 9 dont les détails de calculs (BARRON et *al*, 1996) sont établis en annexe III-7 donnent l'évolution de la satisfaction des besoins en eau de l'ensemble des lignées; elles montrent une diminution des réserves hydrique du sol à partir du mois de septembre, ce qui correspond à la période critique pour les lignées recombinantes semées le 6 juillet.

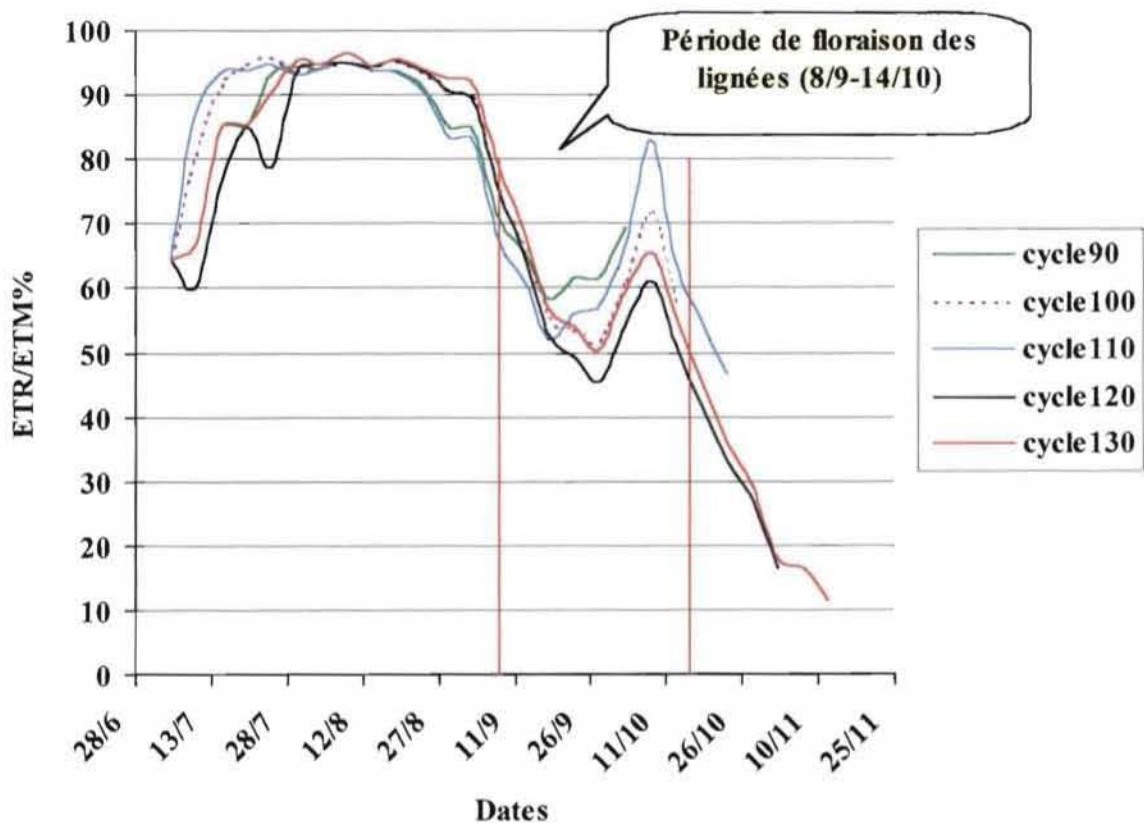


Figure 9 : courbes de satisfaction des besoins en eau des 194 lignées de sorgho.

Les effets de la baisse des réserves du sol sont encore plus marqués sur les lignées épiées après le 26 septembre (CSF de 85 jours). Ces lignées ont enregistré non seulement des

faibles taux de fécondation mais aussi l'humidité résiduelle a été insuffisante pour assurer une migration des éléments nutritifs dans le grain. Il en résulte un mauvais remplissage du grain justifiant les faibles rendements pour les plantes tardives. Par ailleurs, pour ces lignées tardives toute la croissance disponible n'a pas été utilisée, d'où une production en paille élevée (supérieure à 6 000 kg/ha), des teneurs assez bonnes en NDF et de bonnes valeurs de la SMO.

Pour ce qui concerne les variables agronomiques et fourragères, la synthèse des résultats, montre qu'aucune des 194 lignées ne cumule les valeurs optimales de production, de qualité et de bonnes valeurs fourragères recherchées. Cependant si l'on tient compte des données des physiologistes sur le comportement des plantes en C4, un certain nombre de lignées pourraient donner de bons résultats en cas de semis précoces : il s'agit des lignées BF 95-11/33, 47, 68, 79, 96, 104, 192 qui se sont illustrées pour leurs caractères agronomiques, et les lignées BF 95-11/36, 42, 106 qui se sont illustrées soit pour leur teneur élevée en MAT soit pour leur faible teneur en parois totales, leur bonne valeur de solubilité de la matière organique et leur apport important en protéines totales à l'hectare. Quant à la lignée BF 95-11/160 dont les feuilles ont la meilleure valeur fourragère de l'essai, elle a un cycle adapté (CSF de 71 jours) et une vitrosité du grain jugée satisfaisante, mais reste handicapée par sa faible productivité grains.

V. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

A Saria où l'expérimentation a été conduite, la principale contrainte a été d'ordre climatique. Le retard, accusé dans la mise en place de l'essai et le déficit pluviométrique enregistré à partir du mois de septembre ont beaucoup affecté les résultats.

Dans cette étude dont l'objectif était d'identifier parmi les 194 lignées recombinantes de sorgho celles qui présentent des potentialités pour un double usage, les résultats ont montré l'existence d'une grande diversité au sein du matériel recombinants.

Au plan agronomique, le taux d'obtention (12,4 %) de lignées performantes pour leur production et leur qualité du grain et de durée de cycle est acceptable, dans la mesure où le matériel n'a pas fait l'objet de sélection jusqu'en F6 ; il y a également le fait que les caractères de productivité des variétés *Caudatum* et de qualité de grains des *Guinée* sont difficiles à sélectionner simultanément (DEGREMONT, 1992). De l'ensemble des critères qui ont prévalu au choix du matériel pour cette première évaluation, la lignée **BF 95-11/104** a été **meilleure** pour son rendement grains élevé (**3297 kg/ha**), la **vitrosité** de son grain (**2,5**) et la durée de son cycle (**CSF de 67 jours**); en outre elle a un grain blanc et une panicule semis lâche qui la préserverait des moisissures des grains.

Pour l'aspect fourrager, les meilleures lignées de la composition chimique n'ont souvent que un à deux caractères favorables de la valeur fourragère :

- Concernant les feuilles, la lignée **BF 95-11/160** a été meilleure pour sa teneur en matières azotées totales (**MAT = 70 g/kg de MS**); elle a également un apport en protéines totales à l'hectare dans la matière sèche élevé et de ce fait pourrait être distribuée comme seul aliment du bétail. Elle a en outre les teneurs les plus faibles en **NDF (650 g/kg de MS)** et la meilleure valeur de **SMO de l'essai (50 %)**.

- Concernant les tiges, elles ont de faibles teneurs en MAT; la lignée **BF 95-11/42** à la meilleure teneur avec **56 g/kg de MS**. La lignée **BF 95-11/106** est meilleure pour ses faibles teneurs en parois (**NDF = 466 g/kg de MS**), la solubilité de sa matière organique élevée (**SMO = 60 %**) et son apport élevé en **protéines** à l'hectare (**316 kg**).

- Pour les pailles entières, la lignée **BF 95-11/106** est meilleure pour sa faible teneur en parois totales (**NDF = 520 g/kg de MS**), sa solubilité élevée de la matière organique (**SMO =**

56 %); elle a en outre un apport en protéines important dans la matière sèche totale à l'hectare (419 kg).

Quant aux inter-relations entre caractères agronomiques et fourragers, la synthèse des résultats a mis en évidence une divergence entre les caractères favorables au choix des lignées agronomiques et ceux de la valeur fourragère. Ce qui pourrait expliquer la difficulté d'une amélioration conjointe de production grains élevée, durée de cycle adaptée bonne qualité des grains et de bonne valeur fourragère. De l'ensemble des lignées évaluées pour leurs caractères agronomiques et fourragers, il ressort qu'aucune lignée ne rassemble les qualités optimales pour notre objectif de sélection à double usage. Les meilleures lignées sur le plan agronomique ont présenté des défaillances pour la valeur fourragère : teneurs en matières azotées totales (MAT) faibles, des valeurs de solubilité de la matière organique (SMO) faibles et des teneurs en parois totales (NDF) élevées. Elles ont une production pailles souvent inférieure à la moyenne (6386 kg/ha). Les meilleures lignées de la valeur fourragère ont été moins productives en grains avec des cycles semis-floraisons (CSF) généralement supérieurs à 85 jours.

Pour cette étude préliminaire, si nous considérons le fait que pour les plantes en C4, le potentiel de production est fonction de la longueur du cycle, certaines lignées qui se sont illustrées au plan agronomique, pourraient donner de bons résultats pour un double usage dans le cas d'un semis précoce et d'une bonne réponse à la photopériode : il s'agit des lignées BF 95-11/33, 47, 68, 79, 96, 104, 192. Quant aux lignées BF 95-11/36, 42, 106 qui ont de bonnes valeurs fourragères, elles ont une durée de cycle semis-floraison de 90 à 92 jours. Un semis précoce devrait permettre à ces lignées de mieux s'exprimer au plan agronomique. Par contre quant à la lignée BF 95-11/160 qui a donné de bons résultats fourragers, en dépit de son cycle adapté (CSF =71 jours), elle a été défavorisée au plan agronomique par son poids moyen d'un grain, d'où un rendement faible (1527 kg/ha).

Si l'on tient compte des objectifs spécifiques de production qui peuvent guider certains producteurs dans le choix du matériel, les lignées BF 95-11/104, 96, 192, pourraient être recommandées pour une production agronomique, tandis que les lignées BF 95-11/106 et 160 pourraient répondre aux besoins fourragers.

Les résultats de ces travaux ne peuvent être considérés dans leurs valeurs absolues. Afin de mieux apprécier l'effet des conditions climatiques, sur les lignées recombinantes,

l'essai sera repris au cours de la campagne agricole 2001 sur deux sites en deux dates de semis chacun. Cela permettra de vérifier le comportement du matériel (degré de réponse à la photopériode, évolution de la composition chimique) aux variations climatiques, ainsi que l'influence des facteurs biotiques qui contribuent à altérer la qualité du matériel.

A partir de ce deuxième test, deux voies seront engagées pour la suite du travail.

- Une analyse du génome par la recherche de QTL (Quantitative Trait Loci) sera faite, afin de déterminer les régions génomiques impliquées dans l'expression des caractères et la nature des contributions parentales. Cette étape permettra de préciser s'il existe ou non des antagonismes entre caractères agronomiques et fourrager. Elle sera déterminante quant à la continuation du travail ou sa réorientation avec d'autres voies d'améliorations ou expliquerait le fait qu'il ne soit pas possible de sélectionner simultanément les caractères de production de qualité de grain et de la valeur fourragère chez les sorghos.

- Des analyses chimiques en laboratoire de technologies alimentaires permettront de caractériser les différents teneurs en lipides, protéine, minéraux, fibres et amylose. En effet, des analyses technologiques ont permis de déceler que les grains les plus aptes pour le tô sont à la fois vitreux, durs, avec une teneur en amylose élevée. Ceci permettra de déterminer la valeur nutritive des meilleures lignées.

Enfin, les résultats de ce deuxième test permettront de retenir les lignées qui associeront les meilleures qualités agronomiques et fourragères pour des évaluations en stations et en milieu réel avec différents niveaux de fertilisation. Les évaluations seront faites sur : les difficultés au décorticage, la qualité du décorticage (degré de séparation du péricarpe et du germe du grain), le taux de brisure, le rendement au décorticage couplé à un test de dégustation organisé dans les conditions de préparation traditionnelle du tô en comparaison aux variétés locales. Ces tests nous situeront sur la valeur culinaire du nouveau matériel. Une évaluation *in vivo* sera faite avec les pailles de ces lignées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- ANDRIEU J., DEMARQUILLY C., 1987.** Composition et valeur alimentaire des foins et des pailles. *In* DEMARQUILLY C., Ed., les fourrages secs : récolte, traitement utilisation. INRA, Paris, p. 163-182.
- ARRIVETS J., 1973.** Contribution à l'étude de la fertilisation des sorghos locaux sur les sols ferrugineux tropicaux du plateau mossi. Compte rendu de 4 années d'expérimentation à Saria (Haute Volta, 1968-71). Rapport IRAT/HV, 67 p.
- ASIEDU J. J., 1989.** La transformation des produits agricoles en zone tropicale. Ed. Karthala et CTA, 1991, 335 p.
- ATLAS JEUNE AFRIQUE, 1998.** Atlas du Burkina Faso. Troisième éditions Jeune Afrique, 62 p.
- BARON C., PEREZ P., MARAUX F., 1996.** SARRABIL, bilan hydrique à la parcelle. Guide d'utilisation. CIRAD-CA Unité de Recherche Gestion de l'Eau, 32 p.
- BASTIANELLI D., HERVONET C., 2000.** Techniques d'analyses des aliments pour animaux. CIRAD-EMVT, 70 p
- CHANTEREAU J., NICOU R., 1991.** Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose, Collection le technicien de l'agriculture tropicale, 159 p.
- CHANTEREAU J., 1993.** Étude de l'hétérosis chez le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) par l'exploitation d'écotypes et l'analyse de leurs divergences. Thèse de docteur en Sciences, université Paris XI Orsay, 206 p.
- CHANTEREAU J., KONDOMBO C., 1994.** Estimation du taux d'allogamie chez les sorgho de races Guinée. *In* Progrès in food grain research and production in semi-arid Africa, J.M. Menyonga et al. Ed., Ouagadougou, Burkina Faso, SAFGRAD, p. 309-314.

- CHANTEREAU J., FRIOT G., ROBERGE G., GUERIN H., 1999.** Les sorghos à double usage. CIRAD-EMVT, Non encore publié.
- COCHEMÉ j., FRANQUIN P., 1967.** A study of the agroclimatology of semi-arid area South of the Sahara in West Africa. FAO/UNESCO, 325 p.
- COCHRAN W. G. et COX, G. M., 1991.** Experimental designs, second édition. Wiley international édition, 611 p.
- DA, S., 1994.** Valorisation des *Guinée* dans un programme de création variétale pour la zone nord-guinéenne. *In* Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho, ICRISAT-CIRAD. Samanko, Mali, 10-14 octobre, p. 113-119
- DEGREMONT I., 1992.** Evaluation de la diversité génétique et du comportement en croisement de sorghos, *sorghum bicolor* (L) Moench, de la race *Guinea* au moyen de marqueurs enzymatiques et morphologiques. Thèse de doctorat, université Paris XI, Orsay, France, 191 p.
- DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., 1987.** Prévion de la valeur alimentaire des fourrages secs au laboratoire. *In* DEMARQUILLY C., Ed., les fourrages secs : récolte, traitement utilisation. INRA, Paris, p. 141-162.
- DOGGETT H., 1988.** Sorghum. London & Harlow, Longman Scientific and Technical, 2ème édition, 512 p.
- DOULKOUM G., 2000.** Problématique des espaces agro-sylvo-pastauraux dans la province du Bam : le cas de la relique de brousse de Tanlili. 113 p + annexes.
- ERGC/D., 1996.** Étude pédologique de périmètre du centre régional de recherche agricole de Saria, 71 p.
- FAO, 1995.** Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine, Rome, Italie, FAO, 198 p.
-

- FAO, 1999.** Production year book, 1998. Rome, Italie FAO, 243 p.
- FALCONER D. S., 1974.** Introduction à la génétique quantitative. Masson et C^{ie}, 284 p.
- FLIEDEL G., MARTI A., THIEBAUT S., 1996.** Caractérisation du sorgho. Montpellier CIRAD-CA, 404 p.
- FICHES TECHNIQUES, 1998.** Variétés Sarioso 10 et Pelogo (I). Département production végétale, programme céréales traditionnelles.
- GRENET E., DEMARQUILLY C., 1987.** Rappels sur la digestion des fourrages dans le rumen (parois) et ses conséquences. *In* DEMARQUILLY C., Ed., les fourrages secs : récolte, traitement utilisation. INRA, Paris, p. 141-162.
- HAGGAR R. J., AHMED M.B., 1970.** Seasonal production of *Andropogon gayanus*-II. Seasonal changes in digestibility and feed intake. *J. agric. Sci, Camb.*, 75,369-373.
- HANAK- FREUD E., 1999.** Au Burkina Faso, les céréales traditionnelles peuvent devenir des cultures de rente. *In* Agriculture et développement., CIRAD-CA, p. 18-23.
- HARLAN J. R., DE WET J.M.J., 1972.** A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop science*, 12 : 172-176.
- HOUSE L.R. 1987.** Manuel pour la sélection du sorgho (2^{ème} éd.). Patancheru, ICRISAT, Inde, 229 p.
- JENNY L.R., 1964.** Etude agropédologique des Stations de Saria et de Farakobâ. Rapport IRAT/Haute Volta Ouaga, 144 p.
- KABORE-ZOUNGRANA C. Y., 1995.** Composition chimique et valeur nutritive des herbacées et ligneux des pâturages naturels soudaniens et des sous-produits du Burkina Faso. Thèse de doct. d'Etat es. sc. nat., université de Ouagadougou, 224 p + annexes.

- KABORE-ZOUNGRANA C., TOGUYENI A., SANA Y., 1999.** Ingestibilité et digestibilité chez le mouton des foins de cinq graminées tropicales. *Revue élev. Méd. Vét. Pays tropicaux*, 52 (2) : 147-153 p.
- LAGARDE J., 1995.** Initiation à l'analyse des données. Troisième édition, DUNOD Paris. 162 p.
- MILFORD R., MINSON D. J., 1965.** The relation between the crude protein content and the digestible crude protein content of tropical pasture plants. *J. Brit. Grassl. Soc.*, 20, 177-179.
- MINISTÈRE de L'AGRICULTURE DIRECTION DES STATISTIQUES AGRICOLES, 2000.** Données des productions nationales de 1984 à 1998.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES ANIMALES SERVICE DES STATISTIQUES ANIMALES, 2000.** Données des productions nationales de 1996 à 1998.
- MURTY D. S., TABO. R., AJAYI, 1995.** Production et gestion des semences d'hybride du sorgho. ICRISAT, Inde, 41 : 68 p.
- NIANOGO A.J., NASSA S., TROUCHE G., YAMEOGO/BOUGOUMA V., 2000.** Composition chimique de différentes variétés de sorgho. Communication FRST, du 3 au 8 avril 2000, Ouagadougou, à paraître.
- OLITRAULT P., 1989.** Evaluation génétique des sorghos cultivés, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, par l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morphologique : relation avec les sorghos sauvages. Thèse de doctorat, université Paris XI, Orsay, France, 187 p.
- POCHIER G., 1992.** Les systèmes de productions à dominante agricole. *In* le développement agricole au sahel, tome I. CIRAD, p 215-227.
- PRUDENCIO Y. C., 1986.** some adjustment mechanisms of farming system in BURKINA FASO : implication for agricultural research and development. SAFGRAD SYMPOSIUM paper, 30 p.

- RATTUNDE R.E., 1996.** Early-maturing dual-purpose sorghums : Agronomic trait variation and covariation among landraces. *Plant Breeding*, 117 :33-36.
- RIVIÈRE R., 1977.** Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. IEMVT, Ministère de la coopération française, 521 p.
- ROOSE E., ARRIVETS J., POULAIN J., 1979.** Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne. Saria (Haute-Volta) : synthèse des campagnes 1971-1974, ORSTOM 104 p.
- SAPIN P., 1983.** Le sorgho et son amélioration CNEARC/IRAT, 89 p.
- SAVADOGO M., ZEMMELINK G., VAN KEULEN H., NIANOGO A.J., 1999.** Contribution of crop residues to ruminant feeding in different agroecological zones of Burkina Faso. *In* Ressources alimentaires, revue élev. Méd. Vét. Pays trop., 52 (3-4) p. 255-262.
- SOHORO A., TAONDA S. B. J., DICKEY J., R., 1994.** Performance des variétés de sorgho et de niébé à double usage en milieu réel, une évaluation agronomique par les chercheurs et les producteurs. *In* Recherche intégrée en production agricole et en gestion des ressources naturelles. Purdue university and Winrok international, p. 153-163.
- SOMÉ L. SIVAKUMAR M.V.K., 1994.** Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Burkina Faso. INERA, ICRISAT. 43 p.
- TROUCHE G., CHANTEREAU J., ZONGO J.D., 1998.** Variétés traditionnelles et variétés améliorées de sorgho dans les régions sahéliennes. *In* the future of photoperiodical cereals for sustainable production in the semi arid tropics of Africa. Acte du séminaire final du projet STD3 TS3 93.3223, du 27-30 avril 1998. Florence, Italie, éd. Bacci L. et Reyniers F.N. p. 197-208.
- TROUCHE G., BARRO C., 1995.** Rapport final du projet CEE/STD3, 30 p.

WITTIG R., GUINKO S., 1998. Etudes sur la flore et la végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants. Vol III. WITTIG R., GUINKO S., 88 p.

ZEMMELINK G., HAGGAR R. J., DAVIES J. H., 1972. A note on voluntary untake of andropogon gayanus hay by cattle, as affected by level of feeding. Anim. Prod., 15, 85-88.

ZONGO J.D., 1994. Diversité génétique chez les sorghos (sorghum bicolor [L.] Moench) du Burkina Faso. In Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho, ICRISAT-CIRAD. Samanko, Mali, 10-14 octobre 1994, p. 28-43.

ANNEXES

Annexe I-1

Description botanique des races fondamentales de sorgho.

Les Bicolors : Particulièrement adaptés aux zones humides, regroupent les sorghos aux caractères les plus primitifs. La panicule est lâche avec de petits grains, régulier, symétrique dorso-ventralement, légèrement découvert au sommet ou entièrement enveloppés dans des glumes longues et adhérentes; les épillets pédicelles sont persistants. C'est une race complexe de provenance hétérogène où l'on trouve en particulier les sorghos à balais et les sorghos fourragers. Ils sont cultivés à petite échelle dans toute l'Afrique et très répandus en Asie. Ces sorghos proviendraient de la race *eathiopicum*.

Les Guineas : Ce sont des sorghos très rustiques adaptés aux zones humides. C'est la race typique en Afrique de l'Ouest. Ils sont aussi cultivés en Afrique du Sud avec un centre secondaire au Malawi et en Tanzanie. Cette race aurait été sélectionnée parmi les membres spontanés de la race *arundinaceum*. La panicule est lâche à semi-lâche et porte des épillets dont les glumes baillantes, sont de longueur supérieure ou presque égale au grain. Les grains sont symétriques, elliptiques, aplati dorso-ventralement et présentent à maturité une rotation de 90° entre les glumes. Les sorghos de cette race présentent une sensibilité à la photopériode et une grande variabilité morphologique; on y distingue les types *margaritifera* à petits grains très vitreux, les *gambicums* qui sont les plus cultivés, les *guineenses*, les *conspicums* et les *roxburghii*.

Les Caudatums : Ce sont des sorghos caractérisés par un grain dissymétrique, inséré dans des glumes courtes. Il est aplati sur la face ventrale et bombé sur la face dorsale, ce qui lui confère une caractéristique de carapace de tortue. La forme de la panicule est variable. Cette race qui dériverait de la race *verticilliflorum* est très cultivée en Afrique du Centre, de l'Est avec des expansions vers l'Afrique de l'Ouest et du Sud.

Les Durras : Ce sont des sorghos rustiques, caractérisés par des panicules compactes souvent portées par un pédoncule crossé. Leurs grains sont généralement gros, globuleux, plus large que long, pris dans des glumes courtes marquées par un pli transversal médian. Cette race est adaptée à la sécheresse et plus particulièrement à la culture de décrue. Elle domine en Afrique

de l'Est (Ethiopie), le long de la bordure du Sahara, au Moyen-Orient; c'est la race principale en Inde et dériverait de la race *aethiopicum*.

Les Kafirs : Ce sont des sorghos de petite taille avec des panicules relativement compactes de forme cylindrique. Les grains plus réguliers symétriques à tendance sphérique, sont pris dans des glumes de taille variable généralement inférieure au grain. Cette race est très répandue en Afrique du Sud et du Sud-Est, et dériverait de la race *verticilliflorum*.

Annexe I-2

Tableau a : superficies emblavées en céréales dans le monde en 1998 (FAO, 1999)

Cultures	superficies milliers d'ha	productions millions tonnes
Maïs	138720	599708
Blé	224716	589269
Riz	152143	567883
Orge	61058	138946
Sorgho	43445	61969

Tableau b : production mondiale de sorgho en 1998 (FAO, 1999)

Pays	superficies milliers d'ha	rendements kg/ha	productions milliers de tonnes	rang
Mondial	43445	1425	61969	
Afrique	22976	876	20066	
USA	3125	4226	13207	1 ^{er}
Inde	10238	3853	8525	2 ^{ème}
Nigéria	6635	1071	7103	3 ^{ème}
Mexique	2029	3181	6455	4 ^{ème}
Chine	1313	980	5057	5 ^{ème}
Soudan	6405	671	4300	6 ^{ème}
Argentine	782	4811	3762	7 ^{ème}
Burkina Faso	1408	851	1203	8 ^{ème}
Ethiopie	982	1103	1083	9 ^{ème}
Australie	507	2132	1081	10 ^{ème}

Tableau c : superficies et production de sorgho au Burkina Faso de 1984 à 1998 (M.A., 2000)

Années	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
superficies et productions															
superficies céréalières totales (milliers d'ha)	1936	2302	2512	2493	2811	2859	2520	2801	2844	2700	2700	2712	2708	2858	2988
superficies totales en sorgho (milliers d'ha)	978	1106	1217	1135	1314	1320	1288	1362	1369	1162	1549	1446	1379	1386	1408
productions de sorgho (milliers de tonnes)	612	814	928	690	970	991	750	1238	1292	1281	1232	1266	1254	943	1203
rendements en sorgho (kg/ha)	586	725	715	575	734	717	551	884	828	790	632	749	872	651	851
superficies en % du total céréaliier	51	48	48	46	47	46	51	49	48	43	44	53	51	48	47

Annexe II-1

Echelle de notation des caractères qualitatifs observés

Variables Echelle	Vigueur à la levée	Couleur nervure centrale	Couleur des tâches foliaires	Maladies foliaires % d'attaque	Stay-green % de feuilles sénéscentes	Compacité paniculaire	Couleur du grain	Couche brune du grain	Moisissures du grain % de la sur- face attaquée (TGMR)	Vitrosité (IPGRI)
1	Excellente	Blanche	Tan	0-1	0-19	Très lâche	Blanc	Absence	1	Très vitreux
2	Bonne	Jaune	Anthocyané	2-5	20-39	lâche semi-lâche * semi-compacte	Blanc taché *	Présence (9)	1-10	Vitreux
3		Verte	Tan et anth	6-10	40-59		Brun clair (7)	préce des 2 types		Moyen-vitreux
4		Brune		11-20	60-79		Brun foncé (9)			Semi-farineux
5	Moyenne			21-30	80-99		Blanc + brun *	11-25	Farineux	
6	Médiocre			31-40	100				26-40	
7				41-50		compacte				
8				51-75						
9	Mauvaise			> 75		Très compacte		> 40		

TGMR : Threshed Grain Mold Rating

IPGRI (ex IBPGR) : International Plants Génétic of the United Nations

() = correspondance avec la codification internationale

*** = absent de la codification internationale**

Annexe III-1

Burkina Faso
Station de Saria

Campagne agricole 2000

Pluviométrie de la parcelle 20

Date	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1													
2	tr									25			
3				5,5	4	15,2	79	tr					
4							8,7						
5						16,3		18,2					
6					8,2			14,3		8			
7										15			
8						1,2		1		2			
9							8,1	13					
10													
11					1,5		55						
12													
13								17,3	7,2				
14					5								
15													
16						6,5							
17							38,2						
18						4		27	10				
19					8		1						
20					4				7,8				
21							61						
22					8	30				1,5			
23					tr								
24							6	29,5	2				
25						5,5							
26					1,6								
27									17				
28							3		1				
29							12						
30						2,5	24,2						
31					4			30,6					
Total mensuel				5,5	44,3	81,2	415	132	45	51,5			
Nb jrs pl				1	9	8	11	9	6	5			
Total cumulé				5,5	44,3	126	540	678	723	775			775
Nb jrs cumulés				1	10	18	29	38	44	49			49

NB : Cette plusiosité est valable pour la parcelle 19 où l'essai a été installé.

Annexe III-2**COMBINAISONS DES CARACTÈRES QUALITATIFS DES DEUX PARENTS**

1. Plantes tan, présentant un grain brun clair à couche brune (1.3.2)
2. Plantes tan, à grain brun avec couche brune (1.4.2)
3. Plantes tan à grain brun clair sans couche brune (1.3.1)
4. Plantes tan, présentant un grain blanc sans couche brune (1.1.1)
5. Plantes tan avec deux types de panicule dont la couleur du grain est brune ou blanche (1.5.3)
6. Plantes anthocyanées à grain blanc taché sans couche brune (2.2.1)
7. Plantes anthocyanées à grain blanc sans couche brune (2.1.1)
8. Plantes anthocyanées à grain brun avec couche brune (2.4.2)
9. Plantes anthocyanées à grain brun clair avec couche brune (2.3.2)
10. Plantes anthocyanées à grain blanc avec couche brune (1.3.1)
11. Plantes anthocyanées avec deux types de panicule dont la couleur du grain est brune ou blanche (2.5.3)
12. Une hétérogénéité sur la ligne avec la présence de plantes tan et anthocyanée, présentant deux types de grains et deux types de couche brune sur des panicules différentes

Annexe III-3 : suite des résultats agronomiques des lignées du premier groupe

Lignées recombinantes ayant un rendement grains > 2383 kg/ha et une vitrosité > 3

N° du pédigrée	brix1 (%)	brix2 (%)	CSE (jrs)	CSF (jrs)	DT (mm)	HT (cm)	NF	PPAN (g)	Pgr (g)	P1000 gr	VIT	Rgr kg/ha	Ngr /PAN	Pgr /PAN	NPAN /m²	NPL /m²	TBU	CTF	CG	CB	CPA	ST-G
BF 95-11/7	13,9	13,0	62	66	12,2	287	18	1432	1136	23	3,5	3380	1969	46,9	7,1	6,2	0,2	2	2	1	3	4
BF 95-11/19	13,4	10,0	64	68	12,8	237	19	1211	998	22	3,5	2969	2169	45,7	6,5	6,3	0,0	2	2	1	3	4
BF 95-11/14	13,9	10,8	64	67	11,6	263	17	1185	965	21	3,5	2872	2088	43,4	6,5	6,2	0,0	2	2	1	5	4
BF 95-11/10	12,6	10,0	69	73	14,3	245	19	1139	950	21	4,5	2828	1997	42,5	6,6	6,2	0,0	2	4	2	5	4
BF 95-11/193	14,0	7,5	61	64	12,6	260	16	1158	939	19	4,5	2794	1802	34,5	8,0	6,0	0,3	2	4	2	3	4
BF 95-11/105	13,2	9,0	60	63	11,8	241	17	1192	933	19	4,5	2777	2132	40,2	6,7	6,0	0,1	2	4	2	3	4
BF 95-11/103	13,6	9,6	65	69	13,9	228	19	1213	933	19	3,5	2775	1928	36,9	7,7	6,5	0,2	2	4	2	3	4
BF 95-11/172	12,4	11,9	68	71	11,2	275	18	1210	932	17	4,5	2775	2417	37,5	7,2	6,3	0,2	2	4	2	3	5
BF 95-11/91	12,5	9,7	67	71	19,7	268	20	1102	885	20	3,5	2635	1986	39,7	6,6	6,3	0,0	2	1	1	3	4
BF 95-11/31	14,0	9,7	64	67	11,7	272	19	1241	873	18	5	2598	2459	38,5	7,0	5,9	0,2	2	4	2	5	5
BF 95-11/24	13,1	12,8	71	74	12,1	284	18	1109	871	21	4	2592	2029	43,3	5,8	5,5	0,0	2	5	3	3	5
BF 95-11/167	13,2	10,3	69	72	12,7	273	19	1100	865	19	4,5	2576	1979	41,4	6,1	5,7	0,0	2	4	2	3	4
BF 95-11/200	12,7	12,8	69	72	13,4	235	19	1055	860	21	3,5	2559	2018	43,6	5,6	5,2	0,0	2	1	1	4	4
BF 95-11/20	13,0	12,2	66	69	11,7	236	18	1032	840	18	3,5	2500	2078	35,2	7,0	6,4	0,0	2	2	1	3	4
BF 95-11/45	13,0	10,7	65	68	11,5	295	18	1006	839	20	3,5	2497	1971	38,7	6,3	5,9	0,0	2	2	1	5	4
BF 95-11/94	12,3	9,2	77	80	13,5	181	20	1022	837	21	3,5	2492	1874	39,0	6,3	6,0	0,0	1	1	1	5	4
BF 95-11/56	11,8	10,2	67	70	11,4	253	18	1056	834	19	4,5	2482	1909	35,7	6,8	5,7	0,2	2	4	2	5	4
BF 95-11/124	13,5	12,6	68	72	13,7	219	19	1046	828	17	5	2465	1940	33,3	7,2	6,0	0,2	1	4	2	3	4
BF 95-11/4	12,1	10,5	63	66	11,8	222	18	1000	814	25	3,5	2423	1594	38,9	6,3	6,3	0,0	1	1	1	5	3
Pelogo (I)	13,5	13,4	71	74	10,9	314	19	1061	801	20	2,5	2383	1986	39,1	6	5,1	0,2	2	1	1	3	5

Annexe III-4a : résultats sur les feuilles

Lignées recombinantes ayant une teneur en MAT \geq 55 g/kg de MS

N° du pédigrée	Teneur en MO g/kg MS	Teneur en MAT g/kg MS	Teneur en NDF g/kg MS	Teneur en ADF g/kg MS	Teneur en ADL g/kg MS	Valeur de SMO (%)	Teneur en phénols en % MO	Rendement feuilles kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/160	929	70	650	338	43	50	1,5	2197	2038	151
BF 95-11/36	942	62	677	354	45	47	2,0	2217	2088	140
BF 95-11/42	934	60	692	378	51	45	1,5	2808	2627	168
BF 95-11/154	942	58	702	394	53	44	1,5	2018	1899	118
BF 95-11/67	933	58	711	403	51	43	1,2	1826	1708	103
BF 95-11/77	932	58	692	379	50	46	1,4	2226	2078	129
BF 95-11/200	928	58	696	392	50	43	1,5	1858	1730	105
BF 95-11/179	941	58	710	388	53	44	1,5	2432	2287	138
BF 95-11/51	931	57	697	398	50	44	1,3	2019	1883	117
BF 95-11/68	937	57	702	394	50	43	1,4	2395	2240	137
BF 95-11/101	945	57	712	410	53	43	1,3	2066	1953	117
BF 95-11/28	937	56	714	395	46	43	1,5	1656	1553	89
BF 95-11/45	927	55	700	405	50	44	1,1	1799	1671	100
Pelogo (I)	937	44	741	436	54	41	0,9	1730	1622	76
Sariso 10	931	43	729	398	46	43	0,9	2139	1991	92

Annexe III-4a : suite des résultats sur les feuilles

Lignées recombinantes ayant un apport en protéines totales à l'hectare >150 kg

N° du pédigrée	Teneur en MO g/kg MS	Teneur en MAT g/kg MS	Teneur en NDF g/kg MS	Teneur en ADF g/kg MS	Teneur en ADL g/kg MS	Valeur de SMO (%)	Teneur en phénols en % MO	Rendement feuilles kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/89	938	49	709	386	49	43	1,4	3546	3327	176
BF 95-11/27	933	47	712	386	46	44	1,1	3519	3284	172
BF 95-11/10	930	49	727	413	50	42	1,0	3325	3098	167
BF 95-11/156	933	50	707	389	52	43	1,4	2998	2796	153
BF 95-11/42	934	60	692	378	51	45	1,5	2808	2627	168
BF 95-11/160	929	70	650	338	43	50	1,5	2197	2038	151

Annexe III-4b : résultats sur les tiges

Lignées recombinantes ayant une teneur en MAT > 50 g/kg de MS

N° du pédigrée	Teneur en MO g/kg MS	Teneur en MA g/kg MS	Teneur en NDF g/kg MS	Teneur en ADF g/kg MS	Teneur en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Brix2	Rendement tiges kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/42	975	56	606	383	58	46	0,4	16,1	5566	5457	303
BF 95-11/163	979	51	684	431	66	39	0,2	14,9	3738	3654	191
BF 95-11/43	962	50	562	345	54	50	0,8	11,4	3105	2963	160
Pelogo (I)	979	30	749	487	78	30	0,3	13,4	4074	4026	122
Sariato 10	967	20	665	433	72	37	0,5	11,9	3258	3131	63

Lignées recombinantes ayant un apport en protéines totales ≥ 210 kg/ha

N° du pédigrée	Teneur en MO g/kg MS	Teneur en MA g/kg MS	Teneur en NDF g/kg MS	Teneur en ADF g/kg MS	Teneur en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Brix2	Rendement tiges kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/106	973	40	466	262	42	60	0,7	16,2	7926	7710	316
BF 95-11/156	980	45	644	415	65	41	0,4	15,8	6988	6843	311
BF 95-11/42	975	56	606	383	58	46	0,4	16,1	5566	5457	303
BF 95-11/36	985	42	542	329	54	53	0,6	14,7	6559	6487	266
BF 95-11/149	978	39	537	349	56	40	0,6	15,4	6697	6549	253
BF 95-11/189	978	40	544	332	56	51	1,1	14,5	6261	6165	248
BF 95-11/39	980	35	561	364	63	47	0,9	14,2	7080	6924	236
BF 95-11/154	982	38	647	419	67	41	0,3	16,5	5978	5854	221
BF 95-11/146	981	45	520	312	51	54	0,9	17,2	4983	4915	221
BF 95-11/110	973	43	511	311	51	54	0,8	16,4	5032	4876	213
BF 95-11/81	965	32	519	332	53	53	0,7	13,6	6469	6268	211

Annexe III-4b : résultats sur les tiges

Lignées recombinantes ayant une valeur de SMO ≥ 52 %

N° du pédigrée	Teneur en MO g/kg MS	Teneur en MA g/kg MS	Teneur en NDF g/kg MS	Teneur en ADF g/kg MS	Teneur en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Brix2	Rendement tiges kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/106	973	40	466	262	42	60	0,7	16,2	7926	7710	316
BF 95-11/175	979	32	480	288	48	57	0,8	16,9	5641	5521	178
BF 95-11/119	977	42	511	304	47	56	0,4	15,2	5142	5038	209
BF 95-11/110	973	43	511	311	51	54	0,8	16,4	5032	4876	213
BF 95-11/146	981	45	520	312	51	54	0,9	17,2	4983	4915	221
BF 95-11/36	985	42	542	329	54	53	0,6	14,7	6559	6487	266
BF 95-11/81	965	32	519	332	53	53	0,7	13,6	6469	6268	211
BF 95-11/160	971	37	522	317	53	52	1,1	16,6	5476	5314	199
BF 95-11/131	970	31	531	339	54	52	0,8	13,8	4813	4658	146
BF 95-11/143	973	27	534	331	54	52	0,5	16,5	5381	5226	146
BF 95-11/66	979	41	538	324	51	52	0,4	14,0	5044	4967	202
BF 95-11/195	973	29	519	326	56	52	0,9	15,4	5559	5388	151
BF 95-11/195	973	29	519	326	56	52	0,9	15,4	5559	5388	151
BF 95-11/123	975	24	522	330	55	52	0,7	14,9	6027	5884	140
BF 95-11/123	975	24	522	330	55	52	0,7	14,9	6027	5884	140

Annexe III-4c : résultats sur les pailles entières

Lignées recombinantes ayant une teneur en MAT des pailles entières ≥ 50 g/kg de MS

N° du pédigrée	Rapport feuilles/ tiges	Teneurs en MO g/kg MS	Teneurs en MAT g/kg MS	Teneurs en NDF g/kg MS	Teneurs en ADF g/kg MS	Teneurs en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Rendement pailles en kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/42	0,51	961	57	636	382	56	45	0,8	8383	8063	468
BF 95-11/28	0,47	960	50	601	356	51	49	1,1	5198	4988	268
BF 95-11/163	0,49	964	51	694	421	60	40	0,6	5580	5376	286
Pelogo (I)	0,44	967	34	746	471	71	33	0,5	5791	5598	197
Sariato 10	0,67	953	28	690	418	62	39	0,7	5416	5161	156

Lignées recombinantes ayant un rapport feuilles sur tiges ≥ 0,67

N° du pédigrée	Rapport feuilles/ tiges	Teneurs en MO g/kg MS	Teneurs en MAT g/kg MS	Teneurs en NDF g/kg MS	Teneurs en ADF g/kg MS	Teneurs en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Rendement pailles en kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/94	0,81	948	36	732	447	64	36	0,6	4651	4410	165
BF 95-11/186	0,79	955	35	632	367	51	48	0,7	5909	5647	202
BF 95-11/79	0,77	942	38	792	485	69	31	0,5	4551	4281	179
BF 95-11/43	0,75	949	44	637	372	52	46	0,8	5491	5212	249
BF 95-11/115	0,75	962	29	762	474	69	32	0,6	3801	3658	111
BF 95-11/145	0,70	960	31	625	366	54	46	0,9	7748	7441	241
BF 95-11/65	0,68	969	30	707	430	63	39	0,6	5875	5693	174
BF 95-11/171	0,67	946	31	714	446	65	37	0,7	4279	4049	131
BF 95-11/164	0,67	962	43	705	428	63	38	0,8	5298	5096	219

NB : en vert foncé les lignées qui présentent de bons atouts au plan fourrager; en gras les critères sur lesquels elles ont été retenues

Annexe III-4c : résultats sur les pailles entières

Lignées recombinantes ayant un apport en protéines totale \geq 300 kg/ha

N° du pédigrée	Rapport feuilles/ tiges	Teneurs en MO g/kg MS	Teneurs en MAT g/kg MS	Teneurs en NDF g/kg MS	Teneurs en ADF g/kg MS	Teneurs en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Rendement pailles en kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/42	0,51	961	57	636	382	56	45	0,8	8383	8063	468
BF 95-11/156	0,43	965	47	662	407	61	42	0,7	9992	9646	463
BF 95-11/106	0,25	961	41	520	288	43	56	0,8	10221	9825	419
BF 95-11/36	0,35	974	47	576	335	51	52	1,0	8773	8550	407
BF 95-11/149	0,40	965	42	582	357	54	42	0,8	9369	9047	391
BF 95-11/39	0,41	966	38	611	375	60	46	1,0	10031	9690	371
BF 95-11/160	0,41	959	46	560	325	50	51	1,2	7685	7367	351
BF 95-11/89	0,48	964	31	638	395	60	43	0,7	10881	10487	347
BF 95-11/179	0,47	971	46	660	399	61	43	0,8	7484	7267	344
BF 95-11/189	0,40	964	40	592	349	54	49	1,0	8535	8233	342
BF 95-11/154	0,34	972	43	660	412	63	42	0,6	7993	7774	338
BF 95-11/27	0,46	965	30	582	351	54	49	0,9	11069	10690	336
BF 95-11/135	0,46	960	41	632	358	57	47	1,2	8084	7765	329
BF 95-11/119	0,47	964	43	577	333	47	52	0,6	7482	7215	323
BF 95-11/81	0,39	960	36	577	349	53	50	0,8	8878	8519	322
BF 95-11/120	0,39	974	42	684	422	65	40	0,6	7350	7157	319
BF 95-11/80	0,35	967	38	594	353	54	50	0,8	8140	7875	312
BF 95-11/48	0,50	968	39	672	407	60	41	0,5	7967	7709	312
BF 95-11/110	0,36	961	44	565	332	50	51	0,9	6882	6613	304
BF 95-11/3	0,55	964	31	682	410	62	40	0,6	8455	8126	302
BF 95-11/99	0,44	967	35	697	428	66	37	0,7	8677	8391	300

Annexe III-4c : résultats sur les pailles entières

Lignées recombinantes ayant une teneur en NDF ≤ 600 g/Kg et une valeur de SMO ≥ 50 %

N° du pédigrée	Rapport feuilles/ tiges	Teneurs en MO g/kg MS	Teneurs en MAT g/kg MS	Teneurs en NDF g/kg MS	Teneurs en ADF g/kg MS	Teneurs en ADL g/kg MS	Valeur de SMO (%)	Teneur en phénols en % MO	Rendement pailles kg/ha	Quantité de MO en kg/ha	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/106	0,25	961	41	520	288	43	56	0,8	10221	9825	419
BF 95-11/175	0,30	971	36	533	311	48	55	0,9	7326	7111	258
BF 95-11/119	0,47	964	43	577	333	47	52	0,6	7482	7215	323
BF 95-11/36	0,35	974	47	576	335	51	52	1,0	8773	8550	407
BF 95-11/160	0,41	959	46	560	325	50	51	1,2	7685	7367	351
BF 95-11/110	0,36	961	44	565	332	50	51	0,9	6882	6613	304
BF 95-11/146	0,32	967	46	563	329	50	51	1,0	6537	6326	296
BF 95-11/123	0,38	962	30	575	348	52	50	0,8	8303	7981	238
BF 95-11/66	0,38	965	40	584	340	50	50	0,6	6653	6422	263
BF 95-11/81	0,39	960	36	577	349	53	50	0,8	8878	8519	322
BF 95-11/80	0,35	967	38	594	353	54	50	0,8	8140	7875	312
BF 95-11/195	0,41	963	34	574	344	54	50	1,0	7822	7531	255
BF 95-11/131	0,43	960	33	594	361	52	49	0,8	6880	6614	227
BF 95-11/143	0,49	961	34	593	349	51	49	0,7	7998	7684	271
BF 95-11/27	0,46	965	30	582	351	54	49	0,9	11069	10690	336
BF 95-11/189	0,40	964	40	592	349	54	49	1,0	8535	8233	342
BF 95-11/144	0,43	965	31	557	357	53	48	0,9	4932	4759	153
BF 95-11/113	0,47	964	34	596	359	55	47	1,0	6721	6481	231
BF 95-11/198	0,40	961	25	596	370	57	47	0,7	6788	6525	171
BF 95-11/149	0,40	965	42	582	357	54	42	0,8	9369	9047	391

NB : en vert les lignées qui présentent de bons atouts au plan fourrager; en gras les critères sur lesquels elles ont été retenues

Annexe III-5 : Résultats agro-fourragers

Résultats de quelques lignées prometteuses pour un double usage

N° du pédigrée	Rendement grains (kg/ha)	P1000 (g)	VIT	CSF (jours)	F/T	Teneurs en MAT g/kg MS	Teneurs en NDF g/kg MS	Teneurs en ADL g/kg MS	Valeur de SMO %	Teneur en phénols en % MO	Rendement pailles (kg/ha)	Quantité de protéines totales en kg/ha
BF 95-11/33	2620	26	3	72	0,53	35	668	62	42	0,8	6086	207
BF 95-11/96	2790	21	3	76	0,47	34	702	64	38	0,5	6874	223
BF 95-11/68	2711	22	3	71	0,50	33	725	70	34	0,7	7030	232
BF 95-11/47	2594	22	3	70	0,62	32	740	71	34	0,6	5720	183
BF 95-11/192	2766	19	3	67	0,51	35	748	69	34	0,7	5355	185
BF 95-11/104	3297	23	2,5	67	0,49	27	773	76	31	0,5	5288	147
BF 95-11/79	2735	20	3	76	0,88	38	792	69	31	0,5	4551	179
BF 95-11/106	632	13	4,5	90	0,25	41	520	43	56	0,8	10221	419
BF 95-11/36	127	13	5	92	0,35	47	576	51	52	1,0	8773	407
BF 95-11/42	99	11	5	92	0,51	57	636	56	45	0,8	8383	468

Annexe III-6

Modalités et effectifs des variables de l'AFC

	Nombre de classes	Effectifs	Bornes		
			Classes		
			1	2	3
Rgr	3	64; 66; 65	[24-1580]	]1580-2200]	]2200-3380]
Ngrpa	3	65; 65; 65	[151-1355]	]1355-1754]	]1754-2632]
P1000	3	66; 67; 63	[10-17]	]17-19,4]	]19,4-25,6]
VIT	2	80; 116	[2-3]	]3-5]	
brix2	2	98; 98	[7,5-12,9]	]12,9-17,6]	
CSF	3	67; 67; 62	[63-72]	]72-79]	]79-97]
HT	2	65; 67; 64	[181-239]	]239-265]	]265-314]
CTF	3	91; 104	1	2	
CB	2	123; 73	1	2	
ST-G	2	99; 97	3-4	5-6	
F/T	2	100; 96	[0,25-0,49]	]0,49-0,81]	
MAT	3	63; 67; 66	[21-30]	]30-35]	]35-57]
NDF	3	65; 66; 65	[520-660]	]660-710]	]710-835]
ADL	3	60; 72; 64	[43-60]	]60-67,4]	]67,4-87,5]
SMO	3	70; 64; 62	[23,5-37,4]	]37,4-41,9]	]41,9-56,5]
Rpai	3	64; 66; 66	[2927-5580]	]5580-6828]	]6828-11069]

Annexe III-7

Méthodes d'estimation des courbes de satisfaction des besoins en eau

Pour l'étude de la satisfaction des besoins en eau de la culture, nous avons utilisé le logiciel SARRA (Système d'Analyse Régional des Risques Agroclimatiques) pour la simulation du bilan hydrique. L'ensemble des calculs est fait à partir des données décrivant le sol, la culture et le climat.

Concernant la culture, les paramètres d'entrées sont :

- l'espèce,
- la longueur du cycle qui dans notre cas varie de 90 à 130 jours,
 - la vitesse racinaire (qui à défaut de précisions est une donnée constante donnée par le logiciel),
 - les coefficients culturaux décadaires donnés par le logiciel par culture (sorgho) et par cycle.

Concernant la parcelle :

- la pluviosité de la campagne
- l'environnement climatique notamment l'ETP
- la profondeur maximale d'enracinement
- la réserve utile (qui théoriquement est de 1mm/cm).

Il faut noter que pour l'ETP, les données sur 11 ans (1989-1999) de la station de Saria montrent de faibles variations pour une même période. La valeur d'ETP utilisée est une valeur moyenne au cours de cycle de la culture. Le calcul de l'ETR est fait selon la relation d'Eagleman (1971). Les détails sont donnés dans SARRABIL (BARON et al., 1996)

Quant à la profondeur maximale d'enracinement, les travaux faits par le laboratoire des physiques et sols de la station de Saria montrent que sur cette parcelle la profondeur maximale atteignait 120 cm. C'est l'ensemble de ces données qui ont servi à l'évaluation de la satisfaction des besoins en eau de la culture