

SOMMAIRE

Liste des tableaux	IV
Liste des figures.....	IV
Liste des annexes	V
Publications	VI
Sigles et abréviations	VI
AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS	VII
RESUME.....	IX
ABSTRACT	X

Chapitre I : généralités

INTRODUCTION GENERALE.....	1
I. CONTEXTE DE L'ETUDE	3
I.1 Cadre général de la collecte	5
I.2 Diversité variétale et considérations sociales dans les villages	6
II. LE SORGHO	8
II.1 Taxonomie	8
II.2 Origine et domestication	13
II.3 Statistiques générales sur la production.....	15
II.4 Zones de culture.....	15
II.4.1 Le sorgho en Afrique	15
II.4.2 Le sorgho au Burkina Faso	16
II.4.3 Amélioration variétale du sorgho au Burkina Faso	18
III. DIVERSITE GENETIQUE.....	18
III.1 Origine de la diversité génétique	18
III.2 Importance de la diversité génétique	19
III.3 Investigations sur la diversité des sorghos	20

Chapitre II

Structures agro-morphologique et génétique de 124 variétés locales de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] de trois régions agricoles du Burkina Faso

INTRODUCTION	22
I. MATERIEL ET METHODES	24
I.1 Caractérisation raciale et agro-morphologique des variétés	24
I.2 Extraction de l'ADN et géotypage	27
I.3 Analyses statistiques	29
I.3.1 Données agro-morphologiques	29
I.3.2 Données de géotypage.....	30
a) Paramètres descriptifs de la diversité génétique.....	30
b) Structuration de la diversité génétique	32
II. RESULTATS	34
II.1 Diversité variétale nommée par les paysans dans les dix villages de l'étude.....	34
II.2 Analyses de la variabilité agro-morphologique	35
II.2.1 Caractérisation des races botaniques et variabilité agro-morphologique	35
II.2.2 Structuration de la variabilité.....	41
II.3 Analyses moléculaires	44
II.3.1 Polymorphisme génétique et diversité allélique	44
II.3.2 Hétérozygotie attendue	45
II.3.3 Structuration de la diversité génétique.....	48
III. DISCUSSION.....	53
III.1 Diversité variétale nommée par les paysans.....	53
III.2 Diversité agro-morphologique des sorghos.....	53
III.3 Diversité et structuration génétique des sorghos	55
III.3.1 Diversité génétique des sorghos	55
III.3.2 Structuration génétique des sorghos	56
III.3.3 Distribution de la variance génétique	58
CONCLUSION	59

Chapitre III

Variabilité agro-morphologique et structures génétiques intra variétales de dix sorghos locaux [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] du Burkina Faso

INTRODUCTION	60
I. MATERIEL ET METHODES	62

I.1	Caractérisation de la diversité nommée par les paysans	62
I.2	Collecte des données et analyses statistiques de la diversité agro-morphologique	65
I.3	Génotypage et analyses statistiques des données moléculaires	66
I.3.1	Paramètres descriptifs de la diversité génétique	67
a)	Ecart à la panmixie	67
b)	Taux d'alofécondation.....	68
c)	Effectif efficace	68
I.3.2	Structuration de la diversité génétique	69
II.	RESULTATS	70
II.1	Analyse de la diversité agro-morphologique	70
II.1.1	Analyse des caractères qualitatifs	70
II.1.2	Analyse de la variance	70
II.1.3	Structuration de la diversité agro-morphologique	73
II.2	Analyse des données de génotypage.....	74
II.2.1	Polymorphisme génétique et diversité allélique	74
II.2.2	Structuration de la diversité génétique.....	76
II.2.3	Régime de reproduction.....	79
III.	DISCUSSION.....	80
III.1	Différenciation et structuration des variétés	82
III.2	Types variétaux et diversité intra-variétale	83
	CONCLUSION	85

Chapitre IV

Conclusion et perspectives

I.	CONCLUSION GENERALE.....	86
I.1	Diversité des variétés locales de sorgho au Burkina Faso	86
I.2	Conservation de la diversité	87
I.3	Implications pour les programmes d'amélioration du sorgho.....	89
II.	PERSPECTIVES	89
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	91
	ANNEXES	101

Liste des tableaux

Tableau I : sites de prospection et diversité variétale nommée par les paysans	25
Tableau II : liste des variables de la caractérisation agro-morphologique	26
Tableau III : marqueurs microsatellites de la caractérisation génétique	28
Tableau IV : valeurs moyennes des caractères agro-morphologiques par zone agro-écologique	38
Tableau V : résultats des analyses de variance des variables agro-morphologiques.....	39
Tableau VI : établissement des R ² des caractères agro-morphologiques	40
Tableau VII : meilleures variétés locales des deux essais pour la productivité	41
Tableau VIII : caractéristiques moyennes pour les cinq groupes établis par la CHA	43
Tableau IX : paramètres génétiques des 124 variétés locales par locus	46
Tableau X : paramètres de diversité génétique et différenciation génétique selon différents facteurs, établis avec l'ensemble des 29 locus.....	47
Tableau XI : différenciation génétique (F_{ST}) par paire de villages.....	48
Tableau XII : différenciation génétique (F_{ST}) par paire de zones.....	49
Tableau XIII : résultats de l'analyse de variance moléculaire des 124 variétés locales.....	49
Tableau XIV : origine et typologie des dix variétés caractérisées	64
Tableau XV : marqueurs microsatellites utilisés pour le génotypage des dix variétés locales	66
Tableau XVI : pourcentages observés pour les types de couleurs de grain et de glume par variété	71
Tableau XVII : estimation des moyennes (μ) et des variances (σ^2) intra-variétales des S1 pour les caractères agro-morphologiques étudiés	72
Tableau XVIII : paramètres de diversité génétique pour chacune des dix variétés	75
Tableau XIXa : différenciation génétique (F_{ST}) par paire de variétés	78
Tableau XIXb : différenciation génétique (F_{ST}) entre groupes phénologiques	78
Tableau XIXc : différenciation génétique (F_{ST}) entre groupes de précocité	78

Liste des figures

Figure 1 : régions agricoles de l'étude (administration territoriale) et villages prospectés	4
Figure 2 : moyennes pluviométriques bi-décennales de 1923 à 2002 de cinq chefs lieux de sites de collectes (sources : météorologie nationale du Burkina, 2006)	5
Figure 3 : pools géniques du genre <i>Sorghum</i> (Acheampong et al., 1984)	10
Figure 4 : distribution des principaux types spontanés de la section <i>Sorghum</i>	12

Figure 5 : schéma de domestication des sorghos cultivés (Ollitrault, 1987).....	14
Figure 6 : zones de culture du sorgho en Afrique de l'Ouest (Chantereau et Nicou, 1991)	16
Figure 7-1 : superficies cérésières moyennes au Burkina Faso (1990-2006)	17
Figure 7-2 : productions cérésières moyennes au Burkina Faso (1990-2006).....	17
Figure 8 : dispositif expérimental « Alpha Design » (Patterson et Williams, 1976).....	24
Figure 9 : principales races botaniques identifiées dans l'étude	36
Figure 10 : structuration agro-morphologique des 124 variétés locales par la méthode de la Classification Hiérarchique Ascendante selon l'algorithme de WARD (1963). Les valeurs aux nœuds indiquent des ruptures d'indice de niveau qui ont permis la constitution des différentes classes	42
Figure 11 : structuration des 124 individus sur les axes 1 x 2 de l'AFTD	50
Figure 12 : dendrogramme établi avec 22 locus SSR polymorphes pour 124 variétés locales en utilisant l'indice de dissimilarité génétique « simple matching ».....	51
Figure 13 : dendrogramme établi avec 22 locus SSR polymorphes par la méthode « <i>Neighbour-joining</i> » avec 124 variétés locales en utilisant l'indice de dissimilarité génétique « simple matching ». Rapprochement de ce dendrogramme avec les groupes de la Classification Hiérarchique Ascendante	52
Figure 14 : structuration agro-morphologique des dix variétés, obtenue avec neuf variables quantitatives sur les axes 1 x 2 de l'AFD	74
Figure 15 : structuration de la diversité génétique des dix variétés.....	77
Figure 16 : relation entre diversité génétique et taux d'allogamie	79

Liste des annexes

Annexe 1 : description botanique des cinq races principales de sorgho (Harlan et De Wet, 1972).....	101
Annexe 2 : quelques usages du sorgho au Burkina Faso.....	102
Annexe 3 : liste du matériel caractérisé.....	103
Annexe 4 : modalités des variables qualitatives.....	110
Annexe 5 : résultats de quelques auteurs ayant servi aux discussions	111

Publications

Barro-Kondombo C., vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F., Zongo J.D., 2008.
Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-nord. *Cahiers Agricultures* 17: 107-113

Barro-Kondombo C., Sagnard F., Chantereau J., Deu M., vom Brocke K., Zongo J.D., 2010.
Genetic structure among sorghum landraces as revealed by morphological variation and microsatellite markers in three agroclimatic regions of Burkina Faso. *Theoretical Applied Genetics*. TAG-2008-0570.R3

Sigles et abréviations

- CIRP** : Conseil International de Ressources Phytogénétiques
- CIRAD** : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- FAO** : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
- FFEM** : Fonds Français pour l'Environnement Mondial
- IBPGR** : International Board for Plant Genetic Resources (Institut international des ressources phytogénétiques)
- ICRISAT** : International Crops Research institute for the Semi-Arid Tropics (Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-arides)
- INERA** : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
- Bioversity International (ex IPGRI)** : International Plant Genetic Resources Institute (Conseil International des Ressources Phytogénétiques)
- IRD** : Institut de Recherche pour le Développement ex ORSTOM
- MAHRH/DSA** : Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques/Direction des Statistiques Agricoles
- MARP** : Méthodes Accélérées de Recherches Participatives
- ORSTOM** : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
- PCR** : Polymerase Chain Reaction
- RAPD** : Random Amplified Polymorphic DNA
- UMR/DAP** : Unité Mixte de Recherche/Développement Amélioration des Plantes

AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

Cette thèse est le fruit d'un programme de recherche collaboratif entre l'INERA au Burkina Faso et le CIRAD à Montpellier. Elle a été conduite dans le cadre d'un projet « préservation de l'agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso », financé par le FFEM. L'étude ici présentée a été conduite sur la diversité agro-morphologique et génétique de variétés locales de sorghos au Burkina Faso. Elle contribue au but du projet, qui est de concilier le maintien de la biodiversité locale du sorgho et sa valorisation dans les programmes d'amélioration variétale.

Au terme de ce travail, je tiens tout d'abord à remercier mes encadreurs, les rapporteurs et les membres du Jury, qui malgré leurs multiples occupations ont consacré du temps à lire le document, à apporter leurs critiques et suggestions pour améliorer son contenu, ma sincère gratitude :

Au professeur Jean Didier Zongo, pour la confiance qu'il a porté en moi en acceptant de diriger les travaux de thèse, et pour l'appui considérable qu'il m'a toujours apporté au cours de mon cursus universitaire ;

Au Dr Jacques Chantereau, chercheur du CIRAD Montpellier, co-directeur de ce travail, pour sa patience et sa grande disponibilité. Il s'est constamment investi pour voir aboutir cette thèse. Je lui suis très reconnaissante pour avoir effectué le déplacement de Ouagadougou sur ses propres fonds et pour avoir accepté de faire partie du Jury ;

Au Professeur Jeanne Zoundjhekon de l'Université d'Abomey-Calavi, pour s'être intéressée au sujet de thèse en acceptant d'examiner ce travail et de siéger parmi les membres de jury ;

Au Professeur Jeanne Millogo de l'Université de Ouagadougou, pour s'être intéressée au sujet de thèse en acceptant d'examiner ce travail et de siéger parmi les membres de jury ;

Au Dr Abdou Tenkouano, Directeur Régional Afrique de AVRDC-The World Vegetable Center, pour s'être intéressé au sujet de thèse en acceptant d'être rapporteur de ce travail ;

Au Professeur Jacques Simporé, de l'Université de Ouagadougou, pour s'être intéressé au sujet de thèse en acceptant de siéger parmi les membres de jury.

Ma gratitude à tous les membres du comité de thèse :

Au Dr Kirsten vom Brocke, pour ses remarques et les échanges fructueuses dans ce travail ;

Au Dr Monique Deu, pour sa constante disponibilité, son aide précieuse dans le traitement des données de génotypage et de compréhension des résultats ;

A feu Dr Fabrice Sagnard, avec qui j'ai travaillé dans une bonne ambiance, et qui n'a pas connu la fin de cette thèse, toute ma reconnaissance, qu'il repose en paix.

J'ai été très touchée par l'appui multiforme du CIRAD dans la réalisation de cette thèse. Cette institution n'a ménagé aucun effort pour assurer mes séjours à Montpellier et faciliter le bon déroulement des travaux de laboratoire et de rédaction.

Je ne saurais oublier les nombreuses personnes de cet institut pour leur soutien multiforme. Merci au Dr Claude Luce pour sa sympathie et l'appui considérable dans le génotypage. Merci aux Dr Jean Louis Noyer et Jean François Rami chercheurs de l'UMR/DAP, que j'ai dérangés par moment pour des questions de compréhension ;

Je tiens aussi à remercier Madame Roques Savona, Monsieur Charles Evrard pour leur grande disponibilité et tous leurs collègues de l'UPR8 ;

Merci aux Dr Philippe Letourmy, Eric Goze, Lauriane Rouan du CIRAD pour l'appui dans les analyses statistiques, et au Dr Tom HASH de l'ICRISAT Inde, pour les données d'informations sur l'ensemble des marqueurs.

Ma reconnaissance va au Dr Patrick Durant de l'IRD Montpellier, et au Professeur André Charrier de Montpellier Supagro pour les orientations apportées dans cette étude.

Ce travail a été possible grâce au soutien de Gnissa Konaté, Directeur de Recherche à l'INERA, coordonnateur du projet qui a autorisé la prise en charge financière de mes inscriptions universitaires, Je lui adresse toute ma gratitude.

Je tiens particulièrement à remercier l'équipe sorgho de Saria qui m'a aidée dans la collecte des données de terrain ;

Mes remerciements aux paysans qui ont accepté de donner leurs variétés et de partager leurs savoir-faire.

A mon époux, merci pour le soutien apporté au cours de ces travaux.

A mon père, ma mère et à mes frères qui ont beaucoup soutenu ma famille durant mes stages hors du pays, merci.

Que tout un chacun trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

RESUME

Au Burkina Faso, les paysans gèrent une grande diversité variétale de sorgho dans différentes conditions agro-écologiques. Le but de cette étude est de décrire et analyser les diversités agro-morphologique et génétique de variétés locales de sorghos collectées en 2003 et 2004 dans trois régions agricoles du Burkina Faso (le Centre-nord, le Centre-ouest et la Boucle du Mouhoun), d'identifier les forces majeures qui influent sur leurs évolutions et de proposer des méthodes de gestion et de valorisation de la diversité. Deux approches à la fois agro-morphologique et génétique ont servi à caractériser la diversité inter-variétale et intra-variétale.

La caractérisation inter variétale a été conduite avec 124 variétés locales à l'aide de 28 caractères agro-morphologiques et 29 marqueurs microsatellites. Quatre vingt quatorze pour cent (94,4 %) des variétés locales appartiennent à la race botanique *Guinea* composée de deux sous races : les *gambicum* 96,6 % et les *margaritifera* 3,4 %. Les *Bicolor* et *Durra-Bicolor* représentent chacun 0,8 %. Quatre pour cent (4 %) des variétés n'ont pu être rattachés à un groupe botanique ; ceux-ci seraient des hybrides de *Guinea*. Les variétés à grains blancs représentent 74,2 %, celles à grains orangés 13,7 %, et celles à grains rouges 12,1 %. La plus grande part de la diversité est expliquée par le facteur variété, significatif pour tous les caractères, en particulier pour le cycle ($R^2 = 0,84$) et le poids de 1000 grains ($R^2 = 0,79$). En dehors de la durée de cycle, les facteurs « village et zone agro-écologique » ont une faible influence sur la diversité agro-morphologique, structurée en cinq groupes dont un groupe de sorghos précoces à grain rouge. Ces groupes ont été discriminés sur les critères de vitrosité du grain, de longueur de cycle et de panicule ainsi que de poids de 1000 grains. Le taux de polymorphisme génétique est de 79,3 %, avec une diversité allélique de 4,9 allèles par locus et une diversité génétique de 0,37. La diversité génétique à l'instar de la diversité agro-morphologique est aléatoirement répartie et ne respecte aucun critère. Les *Guinea margaritifera* apparaissent génétiquement distincts des *Guinea gambicum*. Les variétés à grain rouge constituent un groupe génétiquement homogène. La différenciation génétique est faible entre les villages ($F_{ST} = 0,06$) et entre les zones agro-écologiques ($F_{ST} = 0,04$). C'est plutôt la couleur de grain avec un $F_{ST} = 0,08$ qui apparaît comme le principal facteur de structuration.

La caractérisation intra-variétale a été réalisée avec dix variétés à grain blanc de la race *Guinea gambicum*, choisies parmi les 124 variétés de la caractérisation inter-variétale. Ces variétés présentent des cycles différents, et sont soumises à des modes de gestion différents dans les espaces agraires. Onze caractères agro-morphologiques et douze marqueurs microsatellites ont servi à caractériser la variabilité de 25 panicules par variété. Les niveaux de diversité intra-variétale diffèrent de manière plus ou moins importante entre les variétés. Les plus faibles variances agro-morphologiques ont été observées au sein des variétés précoces, et les plus fortes variances au sein des variétés tardives. Les variétés précoces sont nettement discriminées des variétés tardives et intermédiaires sur les critères de durée de cycle, de longueur de panicule, de productivité et de poids moyen de 1000 grains. Le taux de polymorphisme génétique est de 100 %, avec une diversité allélique de 5,7 allèles par locus, et une diversité génétique de 0,53. Les plus fortes valeurs de polymorphisme comme de diversité génétique sont observées au sein des variétés tardives. La différenciation génétique globale est forte ($F_{ST} = 0,39$). Génétiquement les variétés précoces constituent un groupe à part, bien différencié des variétés de cycles intermédiaire et tardif, entre lesquelles la différenciation est faible ($F_{ST} = 0,06$). Le taux d'allogamie est de 22 %.

Cette étude a montré que les niveaux de diversité agro-morphologique et génétique sont toujours élevés au Burkina Faso, mais influencés par des facteurs évolutifs. En termes de conservation, les sorghos à grain rouge, les *Guinea margaritifera* et les variétés tardives devraient être au centre des efforts de conservation. Les variétés locales devraient être mieux intégrées dans les programmes d'amélioration variétale du sorgho au Burkina Faso.

Mots clés : Sorgho, variétés locales, Burkina Faso, diversité agro-morphologique et génétique, conservation

ABSTRACT

In Burkina Faso, the farmers manage a great varietal diversity of sorghum under various agro-ecological conditions. The goal of this study is to describe and analyze the agro-morphological and genetic diversities of local sorghum varieties collected in 2003 and 2004 at three agricultural regions of Burkina Faso (Center-north, Centre-west and the Boucle of Mouhoun), to identify the major constraints which influence their evolution, and propose some methods of management and valorization of this diversity. Agro-morphological and genetic approaches were used to establish inter-varietal and intra-varietal diversity.

The inter-varietal characterization was carried out with 124 local varieties using 28 agro-morphological characters and 29 microsatellites markers. 94.4 % of local varieties belong to the *Guinea* botanical race consisting of: 96.6 % *gambicum* and 3.4 % *margaritifera*. *Bicolor* and *Durra-Bicolor* represent each one 0.8%. 4% of the varieties could not be attached to a botanical group, which would be hybrids of *Guinea*. 74.2% of the varieties are white grain, 13.7% are orange grain and 12.1% are red grain. The greatest part of the diversity is explained by the variety factor, significant for all the characters, particularly for the cycle ($R^2 = 0.84$) and the weight of 1000 grains ($R^2 = 0.79$). Apart from the "cycle duration", the "village and agro-ecological zone" factors have a weak influence on the agro-morphological diversity, structured in five groups, of which a group of earlier red grain varieties. These groups were discriminated on the grain vitreousness, cycle duration and panicle length, and weight of 1000 grains criteria. The rate of genetic polymorphism is 79.3, allelic diversity is 4.9 alleles per locus and genetic diversity is 0.37.

Genetic diversity like agro-morphological diversity is weakly stratified and does not respect any criteria. *Guinea margaritifera* appear genetically distinct from *Guinea gambicum*. The red grain varieties constitute a genetically homogeneous group. Genetic differentiation is weak between the villages ($F_{ST} = 0.06$) and agro-ecological zones ($F_{ST} = 0.04$). It is rather the grain color which seems to be the main factor of structuring ($F_{ST} = 0.08$).

The intra-varietal characterization was carried out with ten white grain varieties of *Guinea gambicum* race, chosen among the 124 varieties of the inter-varietal characterization. These varieties have different cycle's duration, and are subjected to different managements in agricultural areas. Eleven agro-morphological characters and twelve microsatellites markers were used to characterize 25 panicles per variety. The intra-varietal diversity levels are more or less significant and differ between varieties. The weakest agro-morphological variances were observed within the early varieties, and the strongest one within the late varieties. The early cycle varieties are clearly discriminated from late and intermediate varieties on the cycle duration, panicle length, productivity, and 1000 grains weight criteria. The genetic rate of polymorphism is 100%, allelic diversity is 5.7 alleles per locus, and genetic diversity is 0.53. The high values of polymorphism as genetic diversity are observed within the late cycle varieties. Global differentiation is strong ($F_{ST} = 0.39$). Genetically the early varieties set up apart group, well differentiated from the intermediary and late cycles varieties, between which differentiation is weak ($F_{ST} = 0.06$). The outcrossing rate is 22%.

This study showed that agro-morphological and genetic diversity levels are always significant in Burkina Faso, but influenced by the dynamics factors. In terms of conservation, the red grain sorghum, the *Guinea margaritifera*, and late cycle varieties should be the center of the efforts of conservation. The local varieties should be more integrated in the sorghum improved varieties program in Burkina Faso.

Key words: Sorghum, landraces, Burkina Faso, agro-morphology and genetic diversity, conservation

Chapitre I

Généralités (P 1-21)

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des millénaires, les ressources phytogénétiques ont joué un rôle important dans le développement agricole, économique et socio-culturel des populations, en tant que biens de consommation et de service. L'homme s'en est toujours servi en se préoccupant très peu de sa préservation. L'histoire enseigne que les relations Homme-Nature ont varié dans le temps et dans l'espace ainsi que les initiatives d'exploitation des ressources phytogénétiques qui ont commencé dès le Néolithique dans différentes régions de la planète. Ainsi, en Egypte, au cours de la 18^{ème} dynastie (-3 500 ans BP), la reine Hatshepsout a organisé une prospection horticole (Harlan, 1975). L'importance des ressources phytogénétiques n'est réellement apparue que dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle avec la Révolution verte, et plus globalement, au vu des destructions rapides des écosystèmes sous l'effet des catastrophes naturelles, des guerres mondiales, des activités anthropiques liées à la croissance démographique, à l'urbanisation, aux pollutions industrielles et aux conditions climatiques (sécheresses cycliques ou excès de précipitation). Le Burkina Faso, pays au cœur de l'Afrique occidentale dont l'agriculture est dominée par les cultures céréalières [(sorgho, mil, maïs, qui occupent 83 % des surfaces totales cultivées (MAHRH/DGPSA, 2007)], n'est pas en marge de ces perturbations qui compromettent ses efforts de développement agricole.

La conservation et l'utilisation durable des ressources phytogénétiques sont de nos jours une préoccupation majeure pour les agricultures du monde, et la recherche scientifique. Suite à la prise de conscience que l'humanité risque de manquer de gènes pour des défis futurs, si aucune initiative n'est prise pour préserver la diversité des espèces végétales cultivées, de grandes collectes ont été organisées depuis les années 1950 (Prosperi *et al.*, 1989; Eberhart *et al.*, 1996). Au Burkina Faso, entre 1960 et 1986, une série de missions de prospection et de collecte de plusieurs espèces cultivées et sauvages a été entreprise à travers tout le territoire, avec l'appui de Bioversity International (ex IPGRI). Les collectes des cultivars de sorgho ont été tour à tour réalisées par l'IRAT en 1960, puis l'ICRISAT entre 1972 et 1980, le CIRP en 1981, IBPGR/ORSTOM/INERA/MAHRH/DSA entre 1981-1982 (ORSTOM, 1982), et l'Université de Ouagadougou entre 1984 et 1987 (Zongo, 1991). Plus d'un millier de variétés locales de sorgho ont pu être collectées. Une bonne partie des collections a été perdue ou conservée dans des banques de gènes internationales. Les échantillons qui ont pu être conservés sont insuffisamment caractérisés et ne peuvent servir efficacement dans les programmes d'amélioration variétale. Du fait de ce handicap, Dahlberg *et al.*, (1996) estiment que seulement 3 % des collections sont utilisées dans l'amélioration

génétique des espèces, montrant ainsi, que l'utilité du matériel génétique dépend d'une meilleure connaissance de ses caractéristiques.

Dans ce contexte, nous avons entrepris la caractérisation agro-morphologique et génétique des variétés locales de sorgho collectées dans trois régions agricoles du Burkina Faso (vom Brocke et Simporé, 2004 ; Sagnard, et *al.*, 2004). Si l'approche par les descripteurs agro-morphologiques révèle la diversité phénotypique telle qu'elle est perçue et sélectionnée par les agriculteurs, l'approche génétique par l'utilisation de marqueurs neutres qui la complète révèle la structuration de la diversité génétique.

L'objectif général de cette étude est de décrire et d'analyser les diversités agro-morphologique et génétique des variétés locales de sorgho, d'identifier les forces majeures qui influencent leurs évolutions et de proposer des méthodes de gestion et de valorisation de la diversité. Deux objectifs spécifiques sont poursuivis :

1. Analyser et établir les niveaux de diversité inter-variétale ;
2. Analyser la diversité intra-variétale, et décrire les caractéristiques identitaires des variétés locales, afin de comprendre comment des facteurs évolutifs, tels que la biologie de la reproduction, et les modes de gestion dans les espaces agraires peuvent influencer les structures génétiques intra-variétales.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Un premier chapitre présente des informations générales sur le contexte de l'étude, le sorgho, son importance et la gestion de la diversité ;
- Un deuxième chapitre analyse au niveau inter-variétal, les diversités agro-morphologiques et génétiques de 124 variétés locales [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] de trois régions agricoles du Burkina Faso ;
- Un troisième chapitre analyse la diversité agro-morphologique, et la structure génétique intra-variétale de dix sorghos locaux [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] du Burkina Faso ;
- Enfin, le quatrième chapitre présente la conclusion générale et les perspectives de l'étude.

I. CONTEXTE DE L'ETUDE

Le matériel végétal de cette étude est le fruit d'une collecte réalisée en 2003 et 2004 (vom Brocke et Simpure, 2004 ; Sagnard, et *al.*, 2004), dans trois régions agricoles du Burkina Faso : le Centre-nord (une province), le Centre-ouest (quatre provinces) et la Boucle du Mouhoun (six provinces). Les régions administratives prospectées sont situées entre les zones agro-écologiques sub-Sahélienne au Nord (isohyète 500-700 mm), et sud-Soudanienne (isohyète 900-1100 mm) au Sud, selon Guinko (1984). Elles couvrent pratiquement la variabilité agro-écologique des environnements de culture du sorgho au Burkina Faso. La figure 1 présente les villages prospectés et les zones agro-écologiques.

Dans cette zone géographique, le sorgho est la céréale la plus cultivée. Son importance relative est de 61 % des superficies céréalères pour le Centre-nord, 68 % pour le Centre-ouest, et 59 % pour la Boucle du Mouhoun (MAHRH/DSA, 2007). Ces régions agricoles connaissent une dégradation inégale des terres cultivées en raison des différences de pression démographique ; cependant, elles ont été toutes plus ou moins affectées par les changements climatiques. La figure 2 illustre les variations pluviométriques enregistrées dans cinq chefs lieux de provinces des sites de collectes, entre 1923 et 2002 ; il s'agit de Boromo et Dédougou (région de la Boucle du Mouhoun), Léo et Koudougou (région du Centre-ouest), et Kaya (région du Centre-nord).

Une investigation conduite par Bélem et *al.*, (2001), sur la diversité des variétés locales de sorghos dans les trois régions agricoles a montré qu'il y avait une érosion variétale du fait de facteurs :

- Climatiques : baisse de la pluviométrie moyenne annuelle et réduction de la durée de la saison des pluies (Somé, 1989), avec comme conséquence une inadéquation entre les cycles variétaux et la durée de la saison des pluies ;
- Economiques, particulièrement dans les zones cotonnières, où les terres les plus fertiles sont réservées à la culture du coton, conduite en rotation avec le maïs. De plus, dans ces zones, le sorgho est concurrencé par le maïs qui s'appuie sur une meilleure organisation de son marché.

Cette situation a conduit le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM), à soutenir la Recherche Agricole au Burkina Faso, pour faire l'état des lieux. C'est ainsi que des collectes de germoplasme ont été organisées en 2003 et 2004 dans les trois régions agricoles concernées.

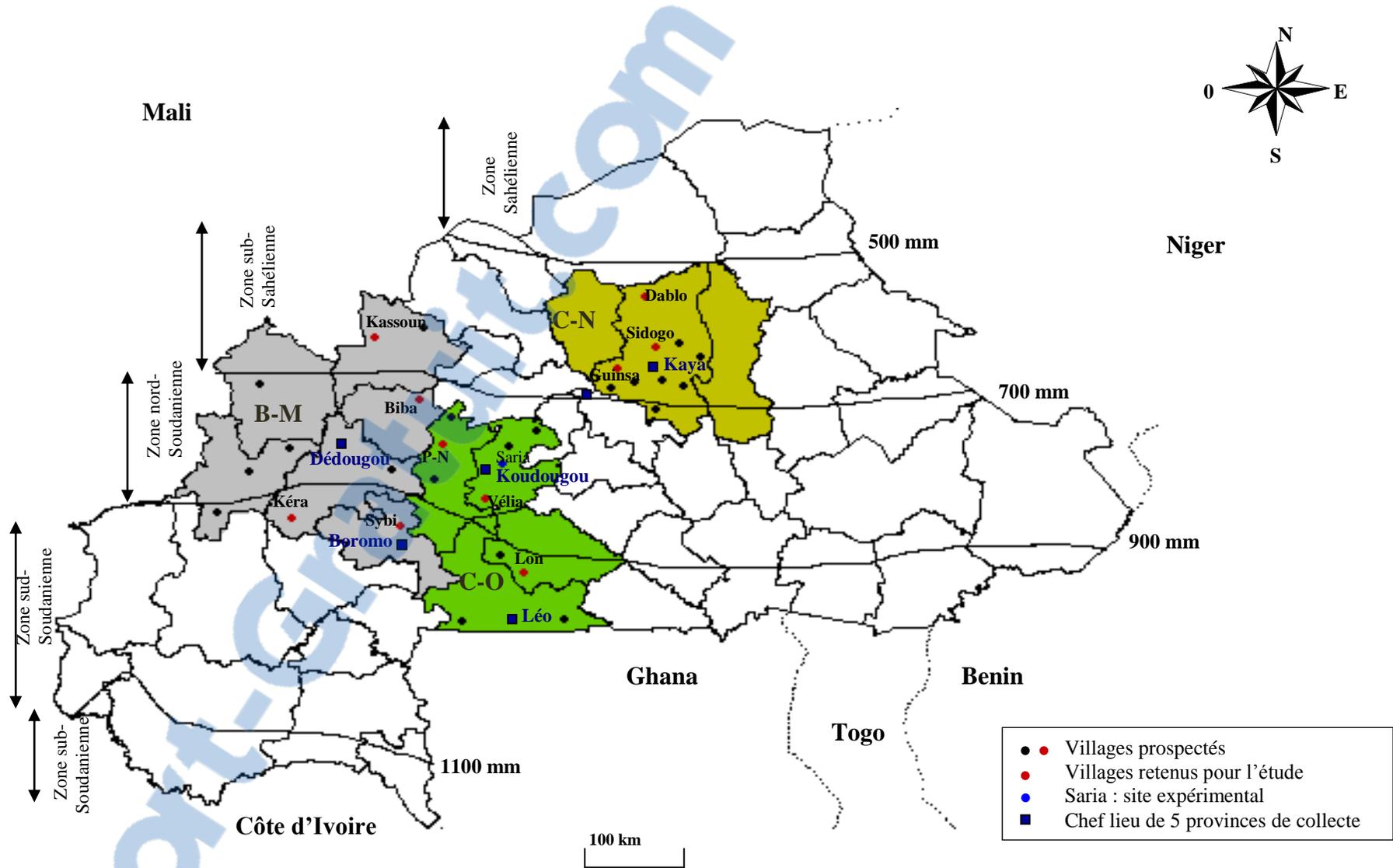


Figure 1 : régions agricoles de l'étude (administration territoriale) et villages prospectés

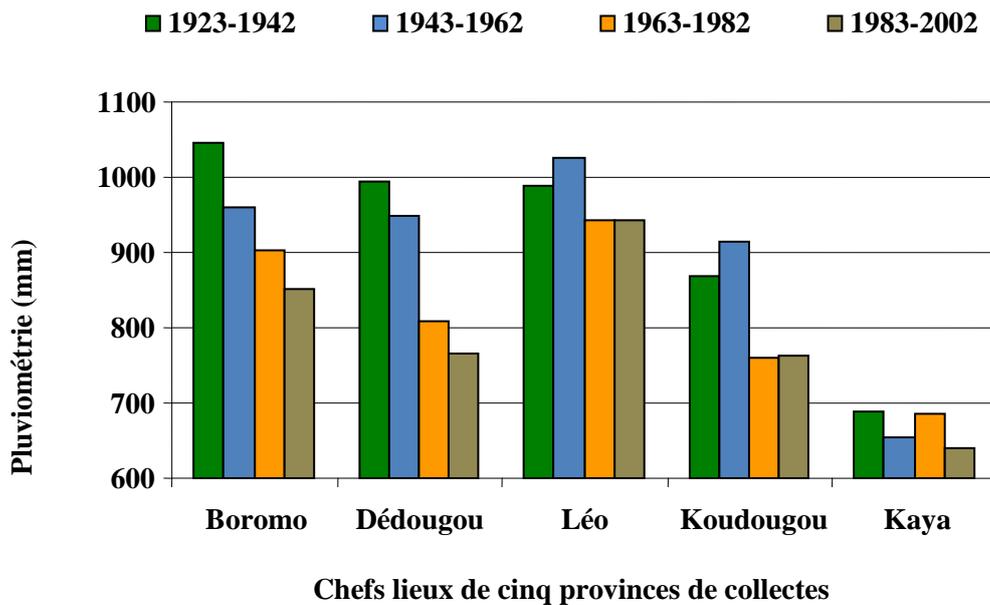


Figure 2 : moyennes pluviométriques bi-décennales entre 1923 et 2002 de cinq chefs lieux de province des sites de collectes (sources : météorologie nationale du Burkina, 2006)

I.1 Cadre général de la collecte

Le choix des villages a impliqué des partenaires du développement dans chaque région agricole, ainsi que les services du Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH). Dix villages ont été retenus par région selon des critères d'éloignement géographique (pas minimum de collecte : 30 km entre villages prospectés), de diversité ethnique et socio-culturelle, de variabilité des conditions agro-pédo-climatiques.

La collecte s'est déroulée selon le protocole proposé par Christinck et *al.*, (1999), par la méthode active de recherche participative (MARP). Elle a été précédée d'un diagnostic participatif, qui a permis de recueillir des informations sur l'historique de chaque variété dans le village, son importance socio-économique et culturelle, les savoirs faires et usages associés à chaque variété, les principaux facteurs qui influencent la diversité. Une liste de toutes les variétés cultivées dans le village est alors établie, ainsi que celles en voie de disparition, et celles qui ont disparu. Des informations ont été également obtenues sur les raisons qui motivent le maintien de chaque variété, ou qui ont contribué à leur disparition. Les variétés collectées ont été identifiées sous leur nom vernaculaire (appellation locale), et les discussions

entre les paysans ont permis de contrôler les problèmes de synonymie, source de surestimation de la diversité locale.

Une fiche de collecte a été établie pour chaque variété. Un entretien individuel est ensuite organisé avec chaque paysan donateur, sur les caractéristiques de sa variété : les points forts (résistance aux ravageurs, productivité, etc.) et les points faibles (sensibilités, aux ravageurs, aux stress hydriques, etc.), le mode de gestion de la variété dans l'exploitation (localisation des cultures, reconstitution des semences, conservation, etc.).

Un échantillon minimal de 25 panicules a été sollicité par variété, mais en raison d'un précédent hivernage catastrophique en 2002, marqué par de mauvaises récoltes sur l'ensemble du territoire national, il a été difficile d'obtenir cet échantillon minimal en certains endroits lors de la collecte (Janvier-Mars 2003). A défaut, l'équipe de collecte acceptait le nombre de panicules disponibles ou environ 1 kg de semences quand elles étaient déjà battues, comme ce fut le cas dans la plupart des villages de la Boucle du Mouhoun. Compte tenu des objectifs de cette étude, un nouvel échantillonnage a été organisé en Mars 2004 sur les récoltes de l'hivernage 2003, dans dix villages des trois régions, selon les mêmes critères, avec pour objectif de collecter 25 panicules par variétés. Au cours de ce passage, une nouvelle enquête a été conduite au près de l'exploitation donatrice sur chaque variété ré-échantillonnée.

I.2 Diversité variétale et considérations sociales dans les villages

Trois cent quarante neuf variétés locales ont été collectées au près de paysans appartenant à neuf groupes ethniques principaux (Mossi, Peulh, Marka, Lyélé, Kasséna, Sissala, Nuuni, Samo, Bwa). Les variétés à grain blanc sont dominantes dans les villages. Certaines variétés désignées sous le même nom différaient par au moins un caractère tel que la durée du cycle, la couleur des glumes, la couleur du grain, etc. Du point de vue botanique, quatre races de sorgho ont été identifiées : les *Guinea* représentés par deux sous-groupes (les *gambicum* dominant dans tout l'échantillon et les *margaritifera*), les *Bicolor*, les *Caudatum*, et les *Durra* ; une race intermédiaire (les *Durra-Bicolor*) et des indéterminés ont été aussi identifiés. Plus du tiers de ce matériel est cultivé depuis plus de 20 ans dans ces territoires burkinabés dont une quinzaine de variétés le serait depuis plus de trente ans. Trente six pour cent (36 %) des variétés présentent une fréquence rare. Ces variétés sont de cycle long, ou

sont d'introductions récentes dans le terroir, de ce fait peu connues de la plupart des paysans. La fréquence d'une variété dans la région [le terroir] est un indicateur d'un processus évolutif tendant à son éradication si elle est rare, ou à son maintien si elle est fréquente. Les variétés rares de cycle tardif sont souvent renouvelées tous les deux ou trois ans, sur de petites superficies pour des raisons sociales (pharmacopée et rites coutumiers).

Au cours des 30 dernières années (1970-2002) qui ont précédé notre collecte, entre deux et cinq variétés auraient été perdues dans les villages en raison de la baisse de la pluviométrie, de la faible productivité des variétés, souvent liée à la faible fertilité des sols ou aux ravageurs. Les variétés à cycle long ont été les plus touchées. On note aussi que les variétés *Guinea* de la sous-race *margaritifera* à petit grain, appelées aussi sorgho-riz, du fait de leurs usages spécifiques (sorgho consommé en remplacement du riz) sont de moins en moins présentes dans les terroirs, en raison d'une plus grande facilité d'acquérir le riz de nos jours.

Les pratiques culturelles sont assez similaires d'un village à l'autre. Le sorgho est rarement produit en culture pure, mais au contraire couramment cultivé en association avec le niébé [*Vigna unguiculata* (L.)], ou le mil [(*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.], et plus rarement avec d'autres cultures comme le maïs et le sésame. Chez la plupart des paysans visités, les variétés de sorgho d'une même exploitation font l'objet d'une gestion séparée depuis les semis, jusqu'à la conservation au grenier. La sélection des panicules pour la semence s'opère au champ au moment de la récolte sur les meilleures plantes saines, présentant de grosses panicules, bien remplies, avec une bonne maturité du grain, et une bonne ouverture des glumes. En cas de mauvaise saison climatique, la pression de sélection est faible.

Il ressort de cette collecte, que les paysans détiennent une forte expérience et un savoir faire sur la gestion de la diversité variétale. Ils accordent une grande importance à celle-ci en raison des contraintes agro-pédo-climatiques ; ils font aussi de gros efforts pour la préserver. Lorsque qu'une variété ne s'adapte plus aux conditions climatiques, des niches écologiques plus favorables sont exploitées. La variété peu être cédée à d'autres paysans si ceux-ci disposent de meilleures conditions environnementales, et s'ils sont intéressés à la cultiver. Il y a aussi les considérations sociales : rites coutumiers, conservation d'une variété en mémoire d'un ancêtre, vertues thérapeutiques (certaines variétés de la sous race *margaritifera* serviraient à la préparation de potions pour les soins de plusieurs maux comme l'impuissance masculine, la toux, etc.). La variété Balinga (S7-10) du Centre-nord serait utilisée en potion contre les génies). La conservation de la vieille semence serait également source de

« richesse », et traduit le fait que l'exploitation est largement autosuffisante. Enfin, il y a les considérations économiques et les facteurs humains (diversité ethnique, échanges de semences, dons, emprunts). Les femmes cultivent souvent des variétés différentes de celles du chef d'exploitation. Tout ceci concourt à entretenir la diversité variétale dans les villages.

II. LE SORGHO

II.1 Taxonomie

Le sorgho, *Sorghum bicolor* (L.) Moench (1794), est une herbacée annuelle de la famille des *Poaceae* (ex-Graminées), sous famille des *Panicoïdeae*, tribu des *Andropogoneae* et du genre *Sorghum* (Doggett, 1988). C'est une espèce monoïque préférentiellement autogame. Le taux d'allogamie varie selon la race considérée : très faible [nul] pour les variétés cléistogames dont les fleurs ne s'ouvrent qu'après l'anthèse, il est de l'ordre de 5 à 7% pour les variétés à panicules compactes (Doggett, 1988), et varie largement (20 à 29 %) pour les variétés à panicules lâches de la race botanique *Guinea* (Ollitrault, 1987 ; Chantereau et Kondombo, 1994).

Le sorgho a d'abord été désigné sous différents noms au cours du 16^{ème} siècle : *Millium saracenaceum*, *Millium indicum sive melica*, *Millium indicum* et *Millium aethiopicum* (Snowden, 1936). La taxonomie moderne ne reprend le nom qu'à partir de Linné (1753) qui fut le premier à décrire le sorgho. Celui-ci désigne le sorgho sous le nom de *Holcus*, et décrit sept espèces, dont trois font toujours partie du genre *Sorghum* : *Holcus saccharatus*, *Holcus sorghum* et *Holcus bicolor*. Toutefois, la systématique actuelle s'inspire des bases données par Moench (1794), qui fut le premier à définir le genre *Sorghum* et l'espèce *bicolor*. Clayton (1961) propose une désignation des sorghos sous le nom de *Sorghum bicolor* (L.) Moench (FAO, 1995).

La première classification prenant en compte l'ensemble des sorghos sauvages et cultivés du genre *Sorghum* a été établie par Snowden (1936). Il définit deux sous-genres ou sections incluant au total 52 espèces : 28 cultivées et 24 sauvages.

- La section *Eu-sorghum*, constitue un complexe d'espèces au sens défini par Pernes (1984), constitué des pools géniques primaire et secondaire. Elle est divisée en deux sous-sections :

- La sous-section des *Halepense* réunit les espèces herbacées pérennes rhizomateuses. Leur génome tétraploïde a pour nombre chromosomique $2n = 4x = 40$;
- La sous-section des *Arundinaceae* comprend les sorghos cultivés série *Sativa*, et les espèces sauvages annuelles série *Spontaneae*, tous diploïdes, avec pour nombre chromosomique $2n = 2x = 20$.
- La section *Para-sorghum* rassemble les espèces sauvages et intermédiaires, leur génome est tétraploïde avec un nombre chromosomique $2n =$ de 10 à 40.

Snowden, dans la classification des *Eu-sorghum* distingue 712 taxons : 31 espèces, 158 variétés et 523 formes. Cette classification est apparue trop complexe à l'usage. Les critères pris en compte par l'auteur impliquent un grand nombre de caractères, dont certains ont une faible valeur taxonomique, et ne tiennent pas compte du fait qu'il n'existe aucune barrière reproductive entre les sorghos cultivés (Célarier, 1959). Harlan et de Wet (1971) ont proposé une classification rationnelle des plantes cultivées, en tenant compte des aspects relationnels en termes d'échanges géniques entre les différents taxons dans trois pools géniques.

Acheampong et *al.*, (1984), apportent deux modifications aux classifications de Harlan et de Wet :

- La section des *Eu-Sorghum* devient section *Sorghum* pour répondre au code international de la nomenclature.
- Les sorghos *Propinquum* qui se croisent aisément avec les cultivés (Célarier, 1959) sont rattachés au pool primaire. La répartition de ces taxons dans les différents pools est donnée à la figure 3.

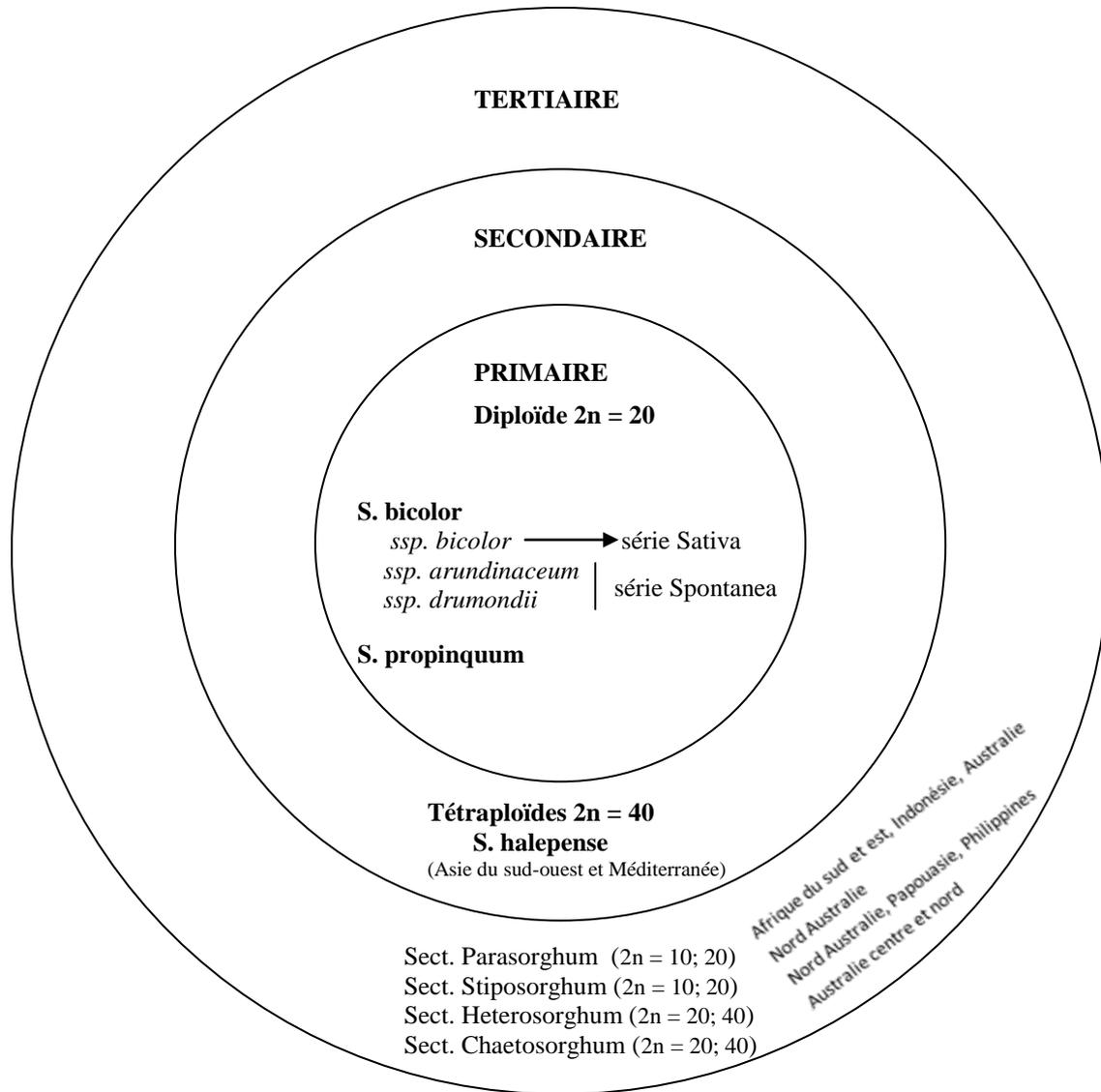


Figure 3 : pools géniques du genre *Sorghum* (Acheampong et al., 1984)

Le pool primaire correspond au concept traditionnel de l'espèce biologique. On y retrouve les sorghos de la sous-section *Arundinaceae* : *S. bicolor* et *S. propinquum*. Ces sorghos sont inter-fertiles, mais leur isolement géographique et la pérennité de *S. propinquum* ont conduit à la distinction en deux sous-espèces.

Le pool secondaire renferme les sorghos de la sous-section *Halepense*. Le niveau de ploïdie ici est un frein aux échanges géniques avec les sorghos des autres pools, mais peut-être levé dans certaines conditions.

Le pool tertiaire contient les sorghos de la section *Para-sorghum*. Ces sorghos peuvent s'hybrider avec les sorghos des autres pools, mais la viabilité des hybrides nécessite le recours à des techniques particulières de laboratoire (haplo-diploïdisation).

Harlan et de Wet (1972) ont proposé une classification simplifiée des sorghos cultivés sur la base de la structure de l'épillet sessile (forme du grain) et du type de l'inflorescence. Ces auteurs distinguent cinq races principales : *Bicolor*, *Guinea*, *Caudatum*, *Durra* et *Kafir* (annexe 1), et dix races intermédiaires issues d'hybridations entre les principales races deux à deux.

De Wet (1978) apporte une amélioration à la description taxonomique :

Le genre *Sorghum* est divisé en cinq sections :

- *Parasorghum*
- *Stiposorghum*
- *Heterosorghum*
- *Chaetosorghum*
- *Eu-Sorghum*

La section *Sorghum* comprend quatre espèces

- *S. halepense* ($2n = 4x = 40$), sorgho sauvage pérenne et rhizomateux. Il présente un petit grain, un fort tallage, des tiges et des feuilles étroites. *S. halepense* est utilisé comme une plante fourragère. Il a été introduit aux États-Unis au début du 19ème siècle sous le nom de Johnsongrass (Celarier, 1959). Il est présent en Asie du Sud-Est, en Inde, au Moyen-Orient et dans le bassin méditerranéen ;
- *S. alnum* ($2n = 4x = 40$) est issu de croisement naturel entre *S. halepense* tétraploïde et *S. bicolor* diploïde (Doggett, 1988). Il est présent en Amérique du Sud, en Inde, au Moyen-orient et dans le bassin méditerranéen ;
- *S. propinquum* ($2n = 2x = 20$), sorgho sauvage, vivace et rhizomateux est présent en Asie du Sud-Est, au Shri-Lanka et en Inde ;
- *S. bicolor* ($2n = 2x = 20$), regroupe les sorghos cultivés et sauvages annuels d'Afrique (de Wet et Huckabay, 1967).

Trois sous espèces composent l'espèce *S. bicolor* :

- La sous-espèce *arundinaceum* ($2n = 2x = 20$) qui présente une forte diversité morphologique et écologique regroupe des sorghos sauvages et des formes adventices. Elle comprend quatre races d'après la structure de leur inflorescence et leur origine géographique (figure 4) :
 - o La race *aethiopicum*, largement distribuée dans les zones arides et borde le Sahara de la Mauritanie au Soudan ;
 - o La race *arundinaceum*, rencontrée principalement dans les forêts humides d'Afrique, et en Afrique australe ;
 - o La race *verticilliflorum* est la plus répandue en Afrique de l'Ouest, en particulier dans les régions de savane ;
 - o La race *virgatum*, très proche de la précédente, est présente dans les zones arides du Nord-Est de l'Afrique.
- La sous-espèce *bicolor* ($2n = 2x = 20$) réunit les cinq races cultivées.
- La sous-espèce *drummondii* ($2n = 2x = 20$) rassemble les adventices (*sudangrass*) issus d'hybridations entre les sous-espèces *arundinaceum* et *bicolor* (Harlan et De Wet, 1972).

Les espèces spontanées et adventices de la série *spontaneae*, sous-section *arundinaceae* de Snowden sont rattachées respectivement aux sous-espèces *drummondii* et *arundinaceum*.

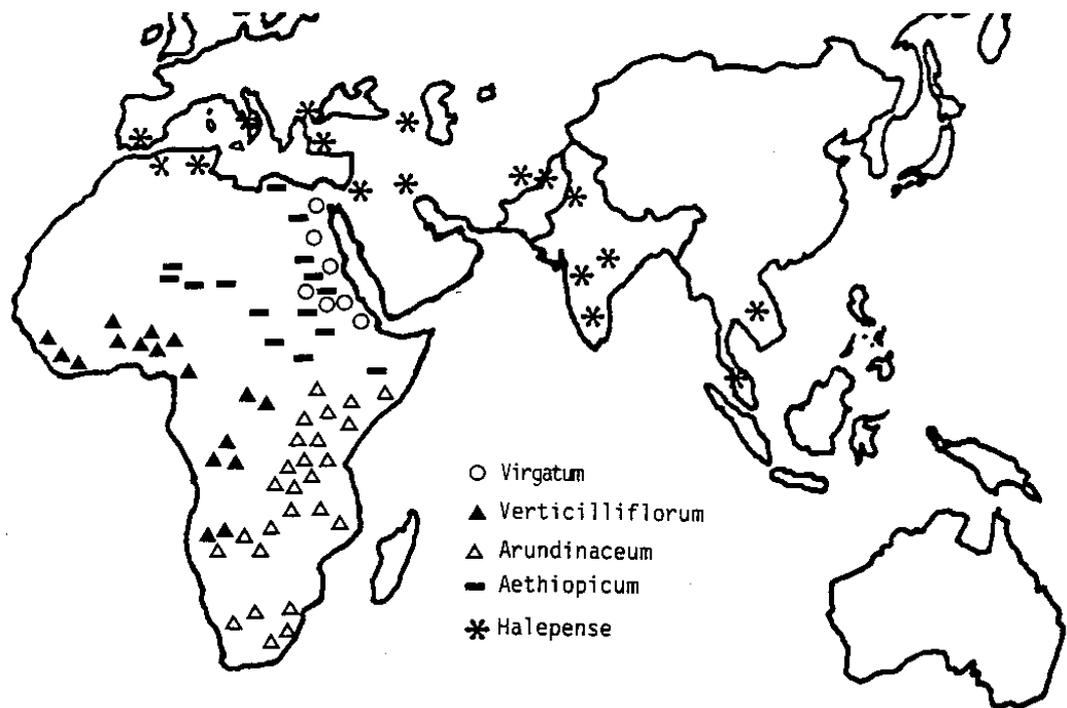


Figure 4 : distribution des principaux types spontanés de la section *Sorghum*

II.2 Origine et domestication

Le sorgho fait partie des espèces les plus anciennement cultivées dans le monde. L'époque de sa domestication reste imprécise. Il aurait été domestiqué il y a environ 6000 ans avant Jésus Christ, dans le Nord-Est de l'Afrique, entre le Soudan et l'Éthiopie, en bordure sud du Sahara, où les plus vieux restes archéologiques ont été trouvés (Wendorf et *al*, 1992).

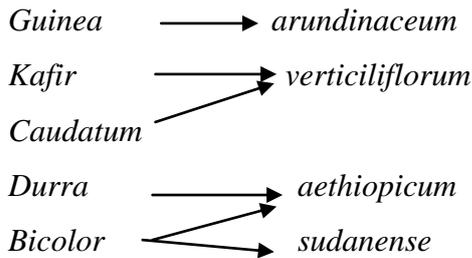
Si tous les auteurs s'accordent sur une domestication à partir de la sous-espèce *arundinaceum*, les points de vue divergent sur l'origine mono ou polyphylétique des différentes races cultivées :

- Doggett (1988) propose l'Éthiopie comme centre d'origine pour tous les sorghos cultivés. Selon l'auteur, de son centre d'origine, le sorgho aurait été dispersé dans l'ensemble du continent africain, puis l'Asie, à travers les migrations humaines. Au cours de sa dispersion, les introgressions avec les formes sauvages apparentées, les mutations et les effets

de dérive génétique, ainsi que les pressions de sélections humaines et naturelles auraient favorisé les différenciations morphologiques.

[Pour certains auteurs, la grande variabilité morphologique, et la répartition géographique des différentes races seraient le fruit d'une domestication indépendante].

– Snowden (1936), observant des similitudes morphologiques entre sauvages et cultivés d'une même région propose une origine polyphylétique des sorghos cultivés, selon le schéma suivant :



– De Wet et Huckabay (1967) parviennent aux mêmes conclusions en utilisant les techniques de taxonomie numérique, à partir de 38 caractères morphologiques.

– Harlan (1975), se basant sur les affinités morphologiques entre sorghos cultivés et sauvages d'une même région, considère que l'Ethiopie serait un centre de diversité partielle (race *Durra*), car aucune région d'Afrique ne concentre la totalité de la diversité des différentes races de sorghos cultivés.

La confrontation des données cyto-taxonomiques et enzymatiques a permis de retracer la phylogénie du genre *Sorghum*. Ollitrault (1987), constatant la structuration enzymatique des sorghos cultivés autour de trois pôles géographiques sans rapport direct avec les types botaniques, propose un schéma de domestication unique situé entre l'Afrique Centrale et Orientale (figure 5). La domestication se serait déroulée en trois phases à partir des sorghos sauvages de la section *Sorghum*, au sein desquels on retrouve la quasi-totalité des allèles observés chez les sorghos cultivés. La diversification des types cultivés à partir des *Bicolor* aurait eu lieu dans trois pôles géographiques :

- Le pôle de l'Afrique centrale et orientale pour les races *Bicolor*, *Caudatum* et *Durra*,
- Le pôle de l'Afrique australe, pour les races *Kafir*, *Guinea*, *Bicolor*,
- Le pôle de l'Afrique occidentale pour les races *Guinea* et *Bicolor*.

Le sorgho aurait atteint l'Asie vers le troisième millénaire avant Jésus Christ avec les migrations inter continentales. Il a atteint l'Europe à l'époque Romaine (753 avant Jésus Christ-395 après Jésus Christ), puis l'Amérique au XVI^{ème} siècle. Il est actuellement cultivé presque partout dans le monde grâce aux progrès génétiques.

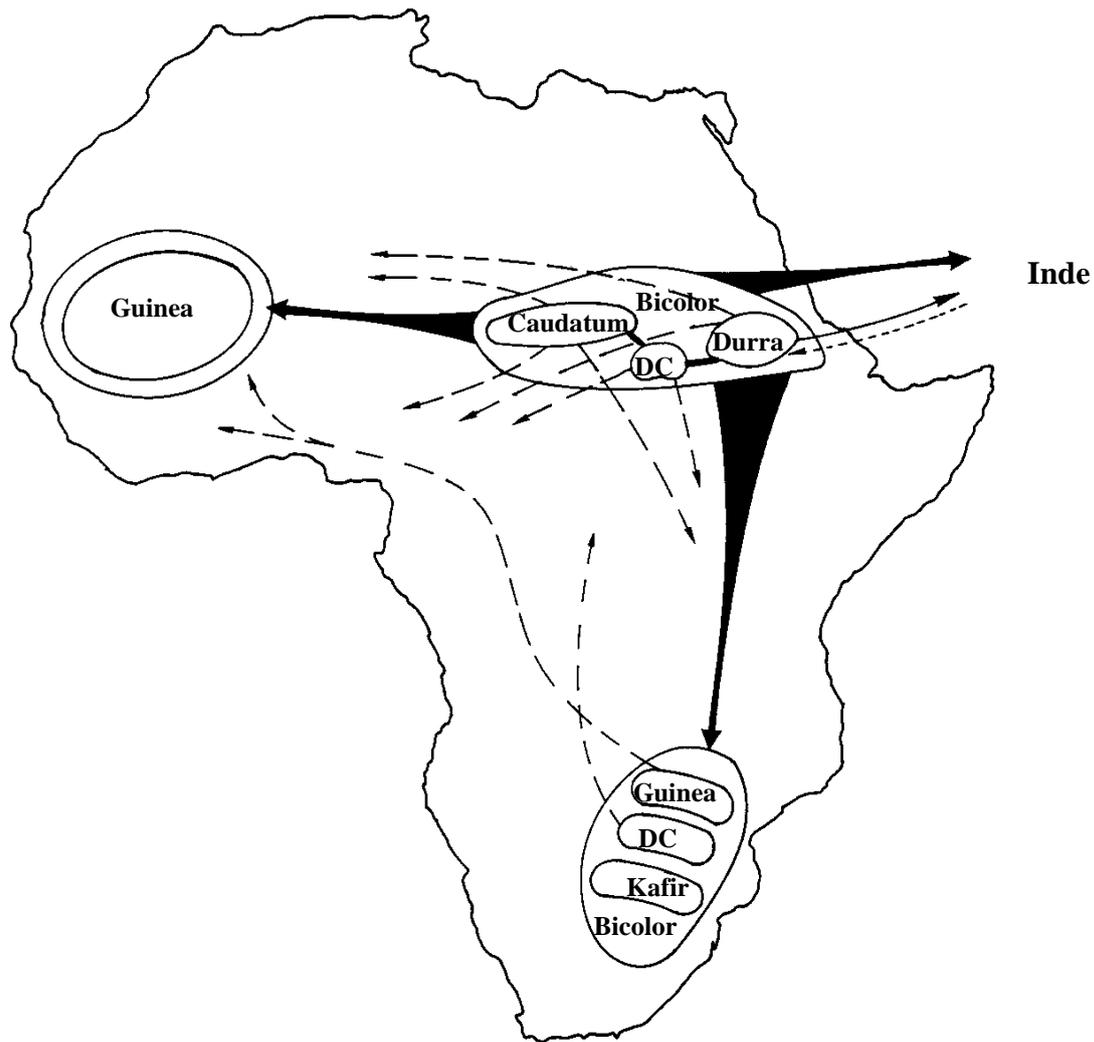


Figure 5 : schéma de domestication des sorghos cultivés (Ollitrault, 1987)

II.3 Statistiques générales sur la production

Le sorgho est la cinquième céréale cultivée dans le monde, après le blé, le riz, le maïs et l'orge. Il occupe en moyenne 43,2 millions d'hectares (période 1998-2007) soit 6,4 % des superficies cérésières totales. La production en grain est estimée à 57,5 millions de tonnes pour la même période, ce qui représente 2,7 % des productions cérésières (FAOSTAT, <http://www.faostat.fao.org>). Le rendement moyen est de l'ordre de 1350 kg/ha. Ce chiffre couvre des disparités importantes entre les différents pays producteurs (ex : 3500 kg/ha pour les Etats-Unis, et 865 kg/ha pour l'Afrique). Ces différences sont essentiellement liées aux contraintes agro-écologiques, aux niveaux d'intensification, et aux caractéristiques botaniques du matériel végétal dans les différentes zones de culture.

II.4 Zones de culture

II.4.1 Le sorgho en Afrique

En Afrique, le sorgho occupe 24,8 millions d'hectares, soit 56,6 % des superficies mondiales consacrées à cette céréale, pour une production en grain qui est de 21,4 millions de tonnes. Les zones de culture importante se situent dans la ceinture qui s'étend de l'Atlantique à l'Ethiopie et à la Somalie. En Afrique de l'Ouest, la zone de prédilection du sorgho est comprise entre les isohyètes 700-1000 mm (figure 6). Les plus grands producteurs sont par ordre décroissant le Nigeria, le Soudan, l'Ethiopie et le Burkina Faso (FAOSTAT, <http://www.faostat.fao.org>).

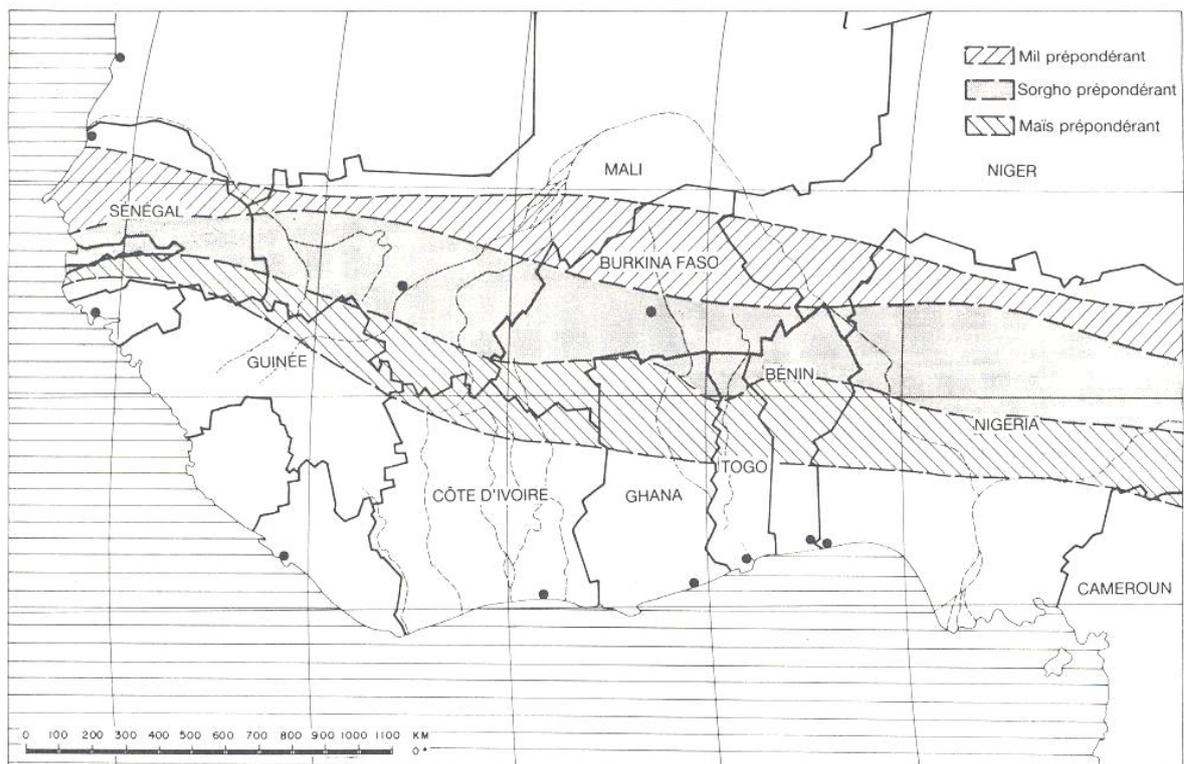


Figure 6 : zone de culture du sorgho en Afrique de l'Ouest (Chantereau et Nicou, 1991)

II.4.2 Le sorgho au Burkina Faso

Le sorgho est la première céréale alimentaire au Burkina Faso. Sur la période 1990-2006, les superficies moyennes annuelles emblavées en sorgho sont estimées à 1,4 million d'hectares, soit 48 % de la superficie céréalière totale (figures 7-1). La production grain est estimée en moyenne à 1,2 million de tonnes, soit 47 % (figure 7-2) de la production céréalière nationale (MAHRH/DGPSA, 2007, <http://www.agristat.bf.tripod.com>). Le rendement moyen est de l'ordre de 850 kg à l'hectare. Le sorgho est inscrit comme plante prioritaire dans les stratégies de recherche et de sécurité alimentaire.

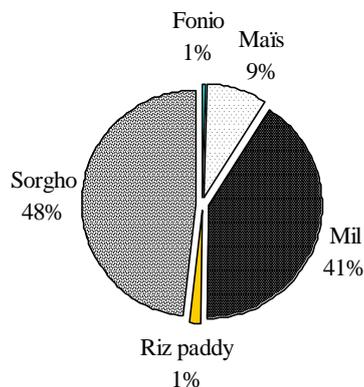


Figure 7-1 : superfcies céréalières moyennes au Burkina Faso (1990-2006)

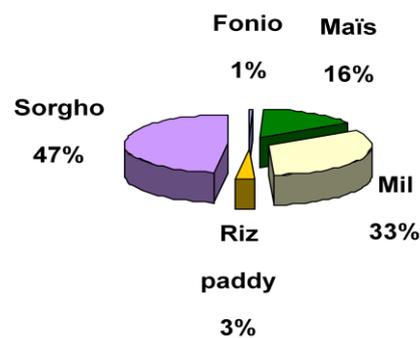


Figure 7-2 : productions céréalières moyennes au Burkina Faso (1990-2006)

Les variétés locales de sorgho restent dominantes dans les systèmes traditionnels d'exploitation, avec une prépondérance de la race botanique *Guinea* (Sapin, 1984 ; Zongo, 1991 ; Barro-Kondombo et *al.*, 2008). Cette forte adoption des *Guinea* est d'abord historique : l'Afrique de l'Ouest est un centre de diversification de cette race (Harlan, 1975), et le Burkina Faso serait au cœur de ce centre (Zongo, 1991). Bien que leur potentiel de production soit faible, les *Guinea* présentent l'avantage d'être photopériodiques. Ce caractère adaptatif qui assure la régularité de la production dans des environnements changeants, leur procure une grande flexibilité des dates de semis, et leur permet de faire face aux fortes variations temporelles de la pluviométrie. De plus, ils présentent une bonne qualité de grain qui convient parfaitement aux habitudes alimentaires des populations rurales.

Au Burkina Faso, le sorgho grain sert à la préparation de plusieurs mets locaux : tô (pâte préparée à partir d'une bouillie), couscous, beignets locaux, galettes, bière locale, sirop, biscuits. Le grain est également consommé frais ou bouilli (souvent comme aliment de

soudure). Les sorghos à petits grains de la sous-race *margaritifera* sont souvent cuisinés comme le riz, après décorticage du péricarpe.

Nombre d'utilisations essentiellement non alimentaires du sorgho sont à signaler. La paille (feuilles et tiges) sert comme fourrage. Les tiges servent comme matériaux de construction (palissade) et comme combustible ; celles de certains sorghos *bicolor* sont consommées en frais comme la canne à sucre. Les cendres servent à la préparation de la potasse alimentaire. La moelle de sorgho est utilisée comme support pour les coupes anatomiques. Certains sorghos à forte coloration tannique servent dans la teinture du cuir. Les extraits de composés phénoliques servent en cosmétique pour le bronzage. L'annexe 2 montre quelques usages du sorgho au Burkina Faso.

II.4.3 Amélioration variétale du sorgho au Burkina Faso

Après les crises alimentaires des années 1970 liées à la sécheresse, les programmes d'amélioration variétale du sorgho au Burkina, à l'instar de ceux de l'Afrique occidentale ont mis l'accent sur la création de variétés à haut potentiel de rendement. Les objectifs de ces programmes étaient de sélectionner des variétés de race *Caudatum*) pouvant répondre à l'intensification, et d'améliorer les systèmes de production à base de sorgho. Malgré le progrès génétique apporté par les nouvelles obtentions (potentiel de rendement élevé), elles se sont avérées inadaptées aux contraintes de production des systèmes traditionnels de culture en termes économique [coût de production plus élevé (fertilisation nécessaire), conditions optimales de culture (préparation du sol, entretien, etc.)], adaptation climatique (absence ou faible réponse des variétés à la photopériode), et en termes de besoins et préférences alimentaires. La forme compacte des panicules les rend vulnérables aux moisissures des grains et aux insectes des panicules. Le grain est de moindre qualité pour le tô (met principal en milieu rural), comparé à celui des variétés *Guinea* (Stoop et *al.*, 1981). Yapi et Debrah (1994) ont montré qu'au Mali, le taux d'adoption de variétés améliorées impliquant un germoplasme exogène est nul dans les régions de cultures extensives et de 4 à 25 % dans les zones cotonnières.

III. DIVERSITE GENETIQUE

III.1 Origine de la diversité génétique

La diversité génétique est l'étendue de la variabilité génétique mesurée à l'échelle d'un individu, une population, une métapopulation, une espèce ou un groupe d'espèces (Frankham et *al.*, 2002 ; Freeland, 2005). La diversité est assurée par la variabilité génétique entre individus au sein de l'espèce. Elle exprime la propriété qu'ont les organismes d'acquérir par mutations et effets de la sélection naturelle des caractères nouveaux (Darwinisme). Grâce à cette variabilité, et dans les limites de l'espèce, les individus diffèrent les uns des autres pour un ou plusieurs caractères.

Au cours de leur évolution, les plantes cultivées acquièrent des particularités biologiques, leur permettant de s'adapter à de nouveaux environnements. L'ensemble de ces particularités biologiques façonnées par les processus évolutifs [sélection naturelle et humaine, migration (histoire de l'espèce), dérive et mutation] a généré de nouveaux caractères constituant la diversité génétique au sein de l'espèce. Les différents individus au sein d'une espèce constituent des populations différentes selon qu'ils occupent ou non une même zone agro-écologique et entretiennent ou non des échanges géniques.

III.2 Importance de la diversité génétique

Les ressources génétiques sont indispensables pour l'agriculture, la médecine et l'industrie. Elles constituent une garantie d'adaptation aux modifications environnementales. Elle conditionnent aussi la survie et tous les processus d'évolution du monde vivant, et d'amélioration génétique de l'espèce (Charrier et *al.*, 1997). Pour Frankel et *al.* (1995), la diversité des espèces doit être préservée afin de maintenir les valeurs sociales et culturelles.

Si la modernisation de l'agriculture permet aujourd'hui d'accroître très rapidement la production agricole, elle ne garantit pas la sécurité alimentaire dans le monde. Conscient que les défis sont nombreux à relever dans le domaine du développement agricole, plusieurs dispositions ont été prises par la communauté scientifique et les politiques internationales, pour pallier à la disparition des ressources phylogénétiques, et éviter une catastrophe biologique. Ainsi, des conventions ont été signées autour de la notion de conservation, de l'utilisation durable de la diversité des plantes cultivées et du partage équitable des avantages tirés de leur utilisation (BRG, <http://www.brg.prd.fr>). Au cœur de ces conventions, on peut

citer le Plan d'Action Mondial (PAM) établi en 1996 et placé sous l'égide de la FAO, et le Traité International de la FAO (2004) sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. De nombreuses collectes de plantes cultivées ont été réalisées (Prosperi *et al.*, 1989 ; Glaszmann *et al.*, 1999) et conservées dans des banques de gènes. Si ces banques *ex-situ* ont permis de protéger le matériel génétique qui pouvait être encore sauvegardé, les avis divergent sur le bien fondé de celles-ci.

A la fin des années 80, les collections dans les banques de gènes sont devenues énormes, et il s'est posé alors la question de savoir comment gérer, évaluer et utiliser au mieux les ressources phytogénétiques qui y sont stockées (Frankel et Brown, 1984 ; Brown, 1989b). Quels critères agro-morphologiques utiliser ? Quels marqueurs génétiques utiliser ? Le « Challenge Programme Generation », qui est un programme international multi partenarial pour la recherche agronomique internationale, dont les actions concertées visent une meilleure utilisation de la génomique, pour une meilleure exploitation de la diversité génétique a choisi de caractériser la diversité dans les collections mondiales de sorgho avec cinquante marqueurs microsatellites. Ce choix justifié pour harmoniser les études, s'explique aussi par le fait que les microsatellites font l'unanimité pour leurs avantages spécifiques, comparés aux autres marqueurs (Djé *et al.*, 1999 et 2000). Les microsatellites sont hautement polymorphes, neutres, co-dominants et multi-alléliques (Ashley et Dow, 1994 ; Grivet et Noyer, 1999).

III.3 Investigations sur la diversité des sorghos

Les variétés locales de sorgho ont fait l'objet d'investigations, tant au niveau agro-morphologique que génétique. Cette investigation a permis de décrire la diversité, l'organisation génétique et les relations entre compartiments de sorghos cultivés et sauvages.

Quelques résultats des caractérisations agro-morphologiques sur des échantillons mondiaux (Chantereau *et al.*, 1989) ou régionaux (Appa Rao *et al.*, 1996 - sorghos de l'Inde ; Teshome *et al.*, 1997 - sorghos de l'Ethiopie ; Grenier *et al.*, 2004 - sorghos du Soudan ; Zongo, 1991 ainsi que Barro-Kondombo *et al.*, 2008 - sorghos du Burkina Faso) ont montré que les variétés locales de sorghos étaient agro-morphologiquement bien diversifiées. Elles sont soit structurées racialement en accord avec la classification de Harlan et de Wet (1972), soit différenciées par leurs comportements en culture, soit par leur aire d'origine.

Au niveau enzymatique (Ollitrault, 1987 ; Morden *et al.*, 1989 ; Zongo, 1991 ; Aldrich *et al.*, 1992), et moléculaire (Deu *et al.*, 1994 et 2006 ; Cui *et al.*, 1995), la

caractérisation d'échantillons de la collection mondiale a mis en évidence une importante diversité génétique au sein des sorghos cultivés. Les niveaux de diversité sont plus élevés pour [les variétés collectées *in-situ*, comparés à celles des variétés *ex-situ*]. Ils varient aussi en fonction des races botaniques et de la provenance géographique. Ces auteurs ont par ailleurs, montré que la structuration de la diversité est mieux expliquée par le facteur géographique que le facteur racial.

L'analyse du polymorphisme enzymatique de sorghos cultivés et sauvages [provenant d'Afrique, d'Asie, du Moyen-Orient (Aldrich *et al.*, 1992)], ainsi que l'approche moléculaire (Casa *et al.*, 2005) ont été développées pour les races de la sous-espèce *arundinaceum* et de la sous-espèce *bicolor* qui sont inter-fertiles. Ces deux compartiments géniques constitués respectivement des formes sauvages et des formes cultivées diploïdes entretiennent des échanges géniques. Les flux de gènes persistent dans les zones de contact où les formes cultivées côtoient les formes sauvages. Ils contribuent à renouveler la variabilité des formes cultivées (Doggett, 1988), et à enrichir leur diversité génétique (Aldrich *et al.*, 1992).

A l'échelle du Burkina Faso, des études de diversité génétique ont été conduites par Ollitrault (1987) et Zongo (1991). La caractérisation botanique des races cultivées a montré une prédominance des *Guinea*. A l'exception des *Kafir*, toutes les autres races de sorgho y ont été identifiées avec de faibles effectifs. La variabilité agro-morphologique est importante. Le cycle de développement des variétés suit un gradient Nord-Sud (Zongo, 1991). Ces deux auteurs ont par ailleurs montré que la diversité enzymatique était importante, mais peu structurée géographiquement.

Le deuxième chapitre de cette étude fait le point de la diversité des variétés locales de sorgho près de 20 ans après les premières investigations. Les termes « conservation et préservation » seront indistinctement employés pour désigner l'action de conservation en l'état, tout comme les termes « ressources génétiques, et matériel génétique », pour désigner tout matériel végétal porteur de l'information génétique.

Chapitre II

**Structures agro-morphologique et génétique
de 124 variétés locales de sorgho (*Sorghum
bicolor* [L.] Moench) de trois régions
agricoles du Burkina Faso
(P 22-59)**

INTRODUCTION

Le sorgho est une culture vivrière importante dans de nombreux pays d'Afrique et d'Asie du Sud-Est (Murty et *al.*, 1995). Au Burkina Faso, il est la principale céréale alimentaire des populations rurales, en particulier dans les zones sub-Sahélienne et nord-Soudanienne. La production grain est presque entièrement assurée par les variétés locales de la race botanique *Guinea* (Sapin, 1984 ; Zongo et *al.*, 2005), dont l'Afrique de l'Ouest serait un centre de diversification (Harlan, 1975). Les variétés locales, gérées de manière dynamique sont bien adaptées aux systèmes de culture extensifs, pratiqués par les paysans au Burkina Faso. Cette gestion de la diversité variétale par les paysans vise à mettre en meilleure adéquation les potentialités variétales, avec les caractéristiques d'un environnement hétérogène, et des objectifs de production qui prennent en compte des usages diversifiés. Ceci suppose une connaissance précise des caractéristiques agronomiques, et de l'aptitude de chaque variété à un type de transformation particulier, ainsi que la capacité à évaluer les contraintes physiques de l'environnement de culture. Le recueil de ce savoir paysan est une étape essentielle d'une étude de diversité *in-situ* d'une plante cultivée (Brush, 2000).

La caractérisation de la diversité intra-spécifique du sorgho peut être conduite sur la base de caractères agro-morphologiques (Appa Rao et *al.*, 1996 ; Teshome et *al.*, 1997 ; Grenier et *al.*, 2004 ; Barro-Kondombo et *al.*, 2008), et plus récemment en utilisant des marqueurs biochimiques ou moléculaires. La plupart de ces études (Cui et *al.*, 1995 ; de Oliveira et *al.*, 1996 ; Menkir et *al.*, 1997 ; Djé et *al.*, 2000 ; Casa et *al.*, 2005 ; Folkertsma et *al.*, 2005 ; Deu et *al.*, 2006) a utilisé des accessions issues de collections *ex-situ* pour lesquelles la documentation était limitée aux données- passeports.

Les études conduites avec des variétés locales collectées *in-situ* associées à des enquêtes sur les systèmes de culture et usages associés permettent de mieux identifier, et estimer les facteurs évolutifs, responsables des structures de diversité observées (Djé et *al.*, 1999 ; Ghebru et *al.*, 2002 ; Barnaud et *al.*, 2007). Au Burkina Faso, Ollitrault (1987) avec des marqueurs enzymatiques a montré que la diversité des variétés locales de sorghos était structurée en trois groupes de nature raciale : un groupe de *Guinea gambicum* largement majoritaire, un groupe de *Guinea margaritifera* et un groupe de *Durra*. Les types *gambicum* et *margaritifera* décrits par Snowden (1936) constituent des sous-groupes de la race botanique *Guinea*. Le type *margaritifera* est caractérisé par un petit grain souvent très vitreux. Zongo (1991) a montré que la diversité agro-morphologique des variétés locales de

sorghos est élevée au Burkina Faso. Ollitrault (1987), ainsi que Zongo et *al.*, (2005) ont par ailleurs montré que la structuration de la diversité génétique est aléatoire. Plus récemment, Barro-Kondombo et *al.*, (2008) ont mis en évidence, l'importance de la diversité agromorphologique intra-village de deux régions agricoles du Burkina Faso, situées dans différentes zones agro-écologiques.

Dans de nombreux pays d'Afrique subaharienne, la baisse de la pluviométrie constatée depuis les années 1970, l'intensification des cultures économiquement rentables (coton, et autres, etc.), et le développement de programmes semenciers formels soutenus par les politiques nationales pourraient menacer la diversité variétale dans les agro-systèmes traditionnels. Ainsi, dans les zones les plus arrosées du Burkina Faso, le succès de la rotation coton-maïs relègue le sorgho aux sols peu favorables, concourant à un abandon progressif de variétés autrefois dévolues à des sols plus fertiles.

Dans ce chapitre sont présentés les résultats d'une caractérisation agromorphologique et génétique de 124 variétés locales de sorgho de trois régions agricoles du Burkina Faso : le Centre-nord, le Centre-ouest et la Boucle du Mouhoun. Ces trois régions sont réparties sur un gradient climatique Nord-Sud entre les isohyètes 500 et 1100 mm (Guinko, 1984). Elles ont été choisies pour représenter la variabilité agro-écologique des zones de culture du sorgho au Burkina Faso (Zongo, 1991). Les objectifs de cette étude sont de :

- Décrire, et d'analyser la diversité inter-variétale en termes d'importance, de structuration et de correspondance ;
- Proposer des priorités pour la conservation ;
- Définir des stratégies d'amélioration variétale, permettant de concilier l'accroissement des rendements et l'adaptation des variétés à des environnements hétérogènes.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1 Caractérisation raciale et agro-morphologique des variétés

Parmi les trente villages prospectés, dix d'entre eux ont été sélectionnés en tenant compte de la variabilité des conditions environnementales (agro-pédo-climatiques), socio-culturelles et ethniques. Cent vingt quatre variétés locales collectées dans ces villages et identifiées par leur nom local sont ici caractérisées (tableau I).

Chaque échantillon étudié est constitué du mélange (bulk) obtenu après battage individuel des panicules du lot variétal (25 panicules au maximum). En outre, la population variétale est reconstituée par le mélange du tiers des graines produites par chacune des 25 panicules. L'annexe 3, donne la liste des variétés caractérisées.

Les variétés ont été semées au cours de deux saisons pluvieuses, les 2 et 26 juillet en 2005 et le 6 juillet en 2006 à la station de recherche INERA de Saria, située entre les isohyètes 700 et 900 mm, dans la région centre du Burkina Faso (latitude 12°16'N, longitude 2°09'O, à 300 m d'altitude). La pluviométrie moyenne recueillie sur ce site au cours de la période 1987-2006 a été de 831 mm. Le dispositif expérimental (figure 8) a été un « Alpha Design » (Patterson et Williams, 1976) à trois répétitions, avec 16 blocs de 8 entrées par répétition. Quatre variétés témoins, deux *Caudatum* (IS 16186, SSM 275) et deux *Guinea gambicum* (S29, Kapelga) ont été adjointes pour équilibrer le dispositif. La parcelle élémentaire par variété a été de 2 lignes de 3 m de long semées aux écartements de 80 cm entre les lignes et de 20 cm entre les poquets sur la ligne, soit au total 32 poquets par parcelle. Afin de limiter l'hétérogénéité environnementale intra parcelle, il a été resemé dans les poquets non levés une variété *Caudatum* (Framida) à grain rouge et à panicule compacte facilement identifiable. Le démariage a été réalisé à une plante par poquet une dizaine de jours après la levée. Vingt huit caractères qualitatifs et quantitatifs ont servi à évaluer le matériel végétal (tableau II).

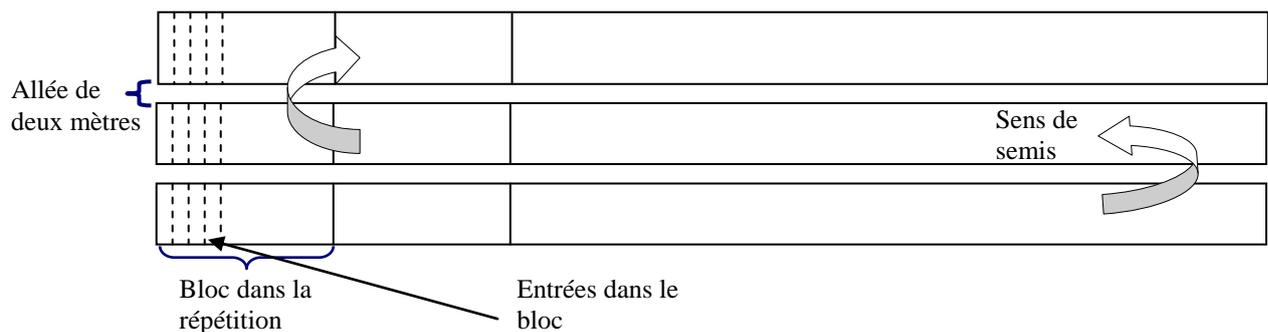


Figure 8 : dispositif expérimental Alpha Design (Patterson et Williams, 1976)

Tableau I : sites de prospection et diversité variétale nommée par les paysans

Zones agro-écologiques	Régions agricoles	Villages	Groupes ethniques ayant fourni les variétés	Nombre de variétés caractérisées	Ancienneté des variétés dans le village	Race botanique	Type de champs de culture
Sub-Sahélienne (500-700 mm) 49 variétés locales	Centre-nord	Dablo	Mossi	12	8a + 4in	gg, db, i	br+
	Centre-nord	Guinsa	Mossi	15	2a + 13in	gg, ma, i	br+
	Centre-nord	Sidogo	Mossi	14	6a + 8in	gg, i	ca+ br, m
	Boucle-Mouhoun	Kassoum	Samo	8	2a + 6in	gg, ma	br+
Nord-Soudanienne (700-900 mm) 53 variétés locales	Boucle-Mouhoun	Biba	Samo et Peulhs	9	2a + 7in	gg, i	br+ ca
	Centre-ouest	Velia	Mossi	14	6a + 8in	gg, ma	m+ br
	Centre-ouest	Pouni-nord	Lyélé	30	3a + 27in	gg	br+ ca, m
Sud-Soudanienne (900-1100 mm) 22 variétés locales	Boucle-Mouhoun	Sybi	Lyélé, Mossi, Marka,	6	6in	gg	br+ ca
	Boucle-Mouhoun	Kéra	Bwaba et Mossi	10	5a + 5in	gg, ma, b	br+ ca
	Centre-ouest	Lon	Nuuni et Mossi	6	1a + 5in	gg	br+ ca, m

a : variétés anciennes (cultivées depuis plus de 20 ans dans le village), soit 35 variétés au total

in : variétés introduites au cours des 20 dernières années précédant la prospection soit 89 variétés au total

gg = *Guinea gambicum*, ma = *Guinea margaritifera*, db = *Durra-Bicolor*, b = *Bicolor*, i = *Indéterminé*

ca = case, br = brousse, m = mixte (variété semée en champs de case et de brousse), + = désigne le type majoritaire dans un village

Tableau II : liste des variables de la caractérisation agro-morphologique

Caractères qualitatifs	Désignation
Vigueur à la levée	VI
Couleur du coléoptile	Cc
Couleur des tâches foliaires	Ant
Compacité de la panicule	Cpa
Longueur de l'épillet pédicellé	Lep
Persistance de l'épillet pédicellé	Pep
Longueur des glumes	Lg
Ouverture des glumes	Ogl
Couleur des glumes	Cgl
Adhérence des glumes	Ad
Aristation des glumelles	Ar
Forme du grain	Fgr
Rotation du grain	Rgr
Couleur du grain	Cgr
Vitrosité du grain	Vit
Tâche d'anthocyane sur le grain	Tg
Couche brune	Cb
Coefficient de réponse à la photopériode	K
Caractères quantitatifs	Désignation
Durée du cycle semis–50 % épiaison (jours)	Cse
Hauteur de tige de la plante principale (cm)	Hp
Nombre de feuilles de la tige principale (<i>dénombré hebdomadairement à partir du stade 4-5 feuilles</i>)	Nf
Longueur de la troisième feuille sous paniculaire (cm)	Lf
Largeur de la troisième feuille sous paniculaire (cm)	Laf
Longueur de la panicule (cm)	Lpa
Poids de panicules (5 plantes/parcelle) (g)	Ppa
Poids de grains (5 plantes/parcelle) (g)	Pgr
Poids de 1000 grains (g)	P1g
Nombre de talles utiles (sur 5 plantes par parcelle)	Tu

La vigueur à la levée, la couleur du coléoptile, la couleur des taches foliaires, la durée du cycle semis-50 % épiaison et le coefficient de réponse à la photopériode ont été observés sur l'ensemble des plantes de la parcelle. Le reste des caractères a été observé ou mesuré sur cinq tiges principales aléatoirement choisies dans chaque parcelle. La vitrosité a été observée selon l'échelle IBPGR (IBPGR/ICRISAT, 1993) de 1 à 5, où 1 traduit un albumen complètement corné (très bonne vitrosité du grain) et 5 un albumen complètement farineux. La description botanique des variétés a été faite selon la classification établie par Harlan et de Wet (1972). L'annexe 4 donne les modalités des variables qualitatives.

I.2 Extraction de l'ADN et génotypage

Le génotypage des 124 variétés locales a été réalisé avec 29 marqueurs microsatellites au laboratoire de l'UMR Développement et Adaptation des Plantes du CIRAD à Montpellier (France). Les marqueurs ont été choisis parmi les 50 utilisés par le « Challenge Programme Generation » pour la caractérisation des collections mondiales de sorghos (tableau III). Dix graines par variété ont été semées dans des pots en serre, et une seule plante choisie aléatoirement a été génotypée. L'ADN total a été extrait à partir de 60 mg de feuilles fraîches prélevées sur une plantule d'environ quatre semaines (stade 8-9 feuilles). Les processus d'extraction et de purification ont été conduits en présence d'un tampon composé de *MATAB* (alkyltrimethylammonium bromide), de *CIAA* (Chloroform IsoAmylic Acid) et d'isopropanol. Les concentrations ont été déterminées par spectrofluorimétrie. Une PCR dite froide (ne faisant pas intervenir le phosphore radioactif $\gamma[^{33}\text{P}]$ ATP) a été ensuite réalisée, puis un dosage des amplifias sur gel d'agarose, afin de vérifier la qualité des extraits obtenus.

Les PCR de la caractérisation génétique ont été réalisées dans un volume final de 20 μl contenant 5 μl d'ADN (5ng/ μl), 0,2 μM de l'amorce 3' (forward primer), 0,2 μM de l'amorce 5' (endlabelled reverse primer), marquées au phosphore radioactif $\gamma[^{33}\text{P}]$ ATP, 2 μl de tampon 10X, 200 μM de dNTPs, 0,1 U/ μl de Taq polymérase. Cette amplification a été réalisée durant 35 cycles : une phase de dénaturation initiale 94°C (4 mn), suivie d'une première série de 10 cycles avec une dénaturation à 94°C (45s), une hybridation à $T_M + 5^\circ\text{C}$ (1 mn), avec une diminution de 0,5°C par cycle, une élongation à 72°C (1mn 30s). La température d'hybridation (T_M) est variable suivant le microsatellite (tableau III). Une seconde série de 25 cycles avec une dénaturation à 94°C (45s), une hybridation à T_M (1 mn), 72°C (1 mn 30s), et une élongation finale à 72°C pendant 4 mn. Les produits d'amplification ont ensuite été soumis à une électrophorèse à 60 W, en gel de polyacrylamide à la concentration de 5 % dans un tampon de migration (TBE 1X). Les dépôts ont été réalisés en duplex avec deux

microsatellites de tailles différentes : le plus léger étant déposé à un temps t , et le plus lourd à un temps $t + 15$ mn. Le « ladder » (avec un poids moléculaire de 35 et 130 pb) a servi comme échelle de référence de migration. Les gels ont été séchés puis exposés pendant 48 à 72 heures à des films autoradiographiques (LifeRay, XDA plus). L'identification des allèles a été réalisée grâce à trois témoins de contrôle (TC) inclus dans chaque gel. Ces témoins ont été développés par le CPG, chacun étant un mélange d'ADN obtenu à partir de trois ou quatre variétés TC1 (IS2807, SSM1284, SSM275), TC2 (IS12531, IS929, IS11119), TC3 (SSM379, IS7889, IS2156, SSM546) (http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit).

Tableau III : marqueurs microsatellites de la caractérisation génétique

Locus	Nombre de répétitions du motif microsatellite	Localisation des SSRs sur le génome du sorgho	Température d'hybridation (TM)	Auteurs
gpsb067	(GT) ₁₀	8	49	Agropolis-Cirad-Genoplante (http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit)
gpsb089	(TG) ₉	1	50	
gpsb123	(AC) ₇₊ (GA) ₅	8	50	
gpsb148	(TC) ₃₊ (CA) ₅	7	50	
gpsb151	(CT) ₁₂	4	50	
SbAGB02	(AG) ₃₅	7	54	Taramino et al., 1997
SB4-72 (Xgap72)	(AG) ₁₆	6	60	Brown et al., 1996
SB5-206 (Xgap206)	(AC) ₁₃ (AG) ₂₀	9	57	
SB6-84 (Xgap84)	(AG) ₁₄	2	58	
Xcup02	(GCA) ₆	9	54	Schloss et al., 2002
Xcup07	(CAA) ₈	10	54	
Xcup11	(GCTA) ₄	3	54	
Xcup14	(AG) ₁₀	3	54	
Xcup61	(CAG) ₇	3	54	
Xcup62	(GAA) ₆	1	54	
Xcup63	(GGATGC) ₄	2	54	
Xtxp10	(CT) ₁₄	9	50	
Xtxp15	(TC) ₁₆	5	55	
Xtxp40	(GGA) ₇	7	55	
Xtxp57	(GT) ₂₁	6	55	Bhatramakki et al., 2000
Xtxp65	(ACC) ₄ (CCA) ₃ CG(CT) ₈	5	55	
Xtxp114	(AGG) ₈	3	50	
Xtxp136	(GCA) ₅	5	55	
Xtxp145	(AG) ₂₂	6	55	
Xtxp278	(TTG) ₁₂	7	50	
Xtxp289	(CCT) ₁₆ (AGG) ₆	9	55	
Xtxp295	(TC) ₁₉	7	55	
Xtxp320	(AAG) ₂₀	1	54	
Xtxp339	(GGA) ₇	9	55	

I.3 Analyses statistiques

I.3.1 Données agro-morphologiques

Afin d'évaluer l'effet de différents facteurs sur l'expression des variables, une analyse de variance a été réalisée avec le logiciel SAS version 9.1.3 (2002-2003) avec le modèle suivant, en considérant les effets année, et zone comme fixes (niveau du facteur exhaustif, respectivement deux années et trois zones), et les effets village, variété, répétition, bloc comme effet aléatoires (échantillon non exhaustif de l'ensemble des niveaux de facteurs possibles).

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i * \beta_j + \delta_k(\beta_j) + \delta_k * \alpha_i(\beta_j) + \gamma_l(\delta_k(\beta_j)) + \gamma_l * \alpha_i(\delta_k(\beta_j)) + \lambda_m(\alpha_i) + \varphi_n(\lambda_m(\alpha_i)) + \varepsilon_{ijkl}$$

Avec

μ moyenne générale de l'essai

α_i effet année i

β_j effet zone j

$\alpha_i * \beta_j$ interaction année i * zone j

$\delta_k(\beta_j)$ effet village k dans zone j

$\delta_k * \alpha_i(\beta_j)$ interaction village k * année i dans zone j

$\gamma_l(\delta_k(\beta_j))$ effet variété l dans village k dans zone j

$\gamma_l * \alpha_i(\delta_k(\beta_j))$ interaction variété l * année i dans village k dans zone j

$\lambda_m(\alpha_i)$ effet répétition m dans année i

$\varphi_n(\lambda_m(\alpha_i))$ effet bloc n dans répétition m dans année i

ε_{ijkl} résiduelle

Les valeurs des coefficients de variation (CV) ont permis de voir la pertinence du modèle de l'analyse de variance. Au cas où un facteur rentrant dans l'analyse de variance est réellement explicatif alors le CV sera faible, dans le cas contraire le CV sera élevé.

Pour chaque variété, le coefficient de réponse à la photopériode (K) a été calculé avec les données de deux répétitions des deux dates de semis de 2005. Il est le rapport de la différence entre les deux durées de cycle semis-50 % épiaison sur la différence entre les deux dates de semis (Traoré et *al.*, 2000), exprimé en calendrier julien, K étant compris entre 0 (pas de

raccourcissement de cycle observé pour un semis décalé) et 1 (raccourcissement du cycle égal au décalage de semis).

$$K = \frac{Cse1 - Cse2}{|d2 - d1|}$$

Cse1 et Cse2, représentent respectivement la durée de cycle (en jours) de la première date et de la deuxième date de semis ; d1 et d2 étant respectivement la première et la deuxième date de semis.

Des coefficients de détermination (R^2) ont été établis avec le logiciel GenStat 8^e édition (<http://www.vsn-intl.com/genstat>) pour tester la part de variance des variables quantitatives attribuables aux facteurs variété, année, village et zone agro-écologique.

Les valeurs moyennes de neuf variables quantitatives : durée du cycle semis-50 % épiaison (Cse), hauteur plante (Hp), nombre de feuilles (Nf), longueur de feuille (Lf), largeur de feuille (Laf), longueur de panicule (Lpa), poids de panicules (Ppa), poids de grains (Pgrs) et poids de 1000 grains (P1g), ainsi que la vitrosité (Vit), regroupées pluri annuellement ont servi de données d'entrée pour une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) (Benzecri, 1984). Celle-ci a été établie sur la base de la distance euclidienne suivant le critère d'agrégation de Ward (1963). Dans cette classification, chaque individu à l'assise constitue une classe. Les partitions sont construites à chaque étape par agrégation des deux individus les plus proches jusqu'à l'obtention d'une classe unique. L'arbre hiérarchique dont chaque niveau représente une classe décrit la structuration finale de la population variétale. Les classes ainsi constituées ont été ensuite caractérisées par une Analyse Factorielle Discriminante (AFD). Les valeurs des fonctions de classement ont permis de déterminer les variables les plus discriminantes des groupes. Ces deux analyses ont été réalisées par le logiciel XLSTAT-PRO version 7.5 1995-2000 (Fahmy, 1999).

I.3.2 Données de génotypage

a) Paramètres descriptifs de la diversité génétique

Taux de polymorphisme

Le taux de polymorphisme (P) est une estimation du nombre de locus polymorphes par rapport à l'ensemble des locus étudiés. Le polymorphisme ou diversité intra spécifique est

défini comme étant la présence à un locus de deux ou plusieurs formes alléliques (Pernes 1984). Nous considérons qu'un locus est polymorphe lorsque l'allèle le plus rencontré présente une fréquence inférieure 95 %.

$$P = \frac{\text{Nombre de locus polymorphes}}{\text{Nombre de locus étudiés}}$$

Diversité allélique

La diversité allélique (A) est une estimation du nombre moyen d'allèles par locus.

$$A = \frac{\text{Nombre total d'allèles}}{\text{Nombre de locus étudiés}}$$

La diversité allélique est fonction de la taille de l'échantillon. Dans les petits échantillons, sa variance est élevée du fait de la présence ou de l'absence d'allèles rares (fréquence inférieure à 5 %). El Moussadik et Petit (1996) pour corriger ce biais ont proposé d'établir une richesse allélique (R_s) qui est une estimation non biaisée du nombre d'allèles attendu par locus indépendamment de la taille de l'échantillon.

$$R_s = \sum \left[1 - \frac{\binom{N-N_i}{2n}}{\binom{2N}{2n}} \right] \text{ où,}$$

- $2N$ est le nombre total de gènes échantillonnés dans une sous population ;
- N_i est le nombre d'allèles de type i parmi les $2N$ gènes ;
- $2n$ représentent les gènes.

Taux d'hétérozygotie

Le taux d'hétérozygotie est une mesure de la diversité génétique de Nei (1978). L'hétérozygotie espérée (He) est la proportion théorique d'individus hétérozygotes attendue à un locus à l'équilibre de Hardy-Weinberg, il est donné par la formule :

$$He = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 ; p_i \text{ est la fréquence de l'allèle } i \text{ au locus considéré.}$$

La diversité génétique totale (multilocus) est la moyenne des diversités de tous les locus étudiés. Il a été également calculé :

- H_o , qui est la proportion d'individus hétérozygotes observés en moyenne dans la population totale ;
- H_s , qui est l'hétérozygotie théorique attendue dans une sous population à l'équilibre de Hardy-Weinberg.

b) Structuration de la diversité génétique

Wright (1965) pour décrire les niveaux de structuration des populations a défini trois indices de fixation (F_{IS} , F_{ST} , F_{IT}), appelés F-statistiques. L'analyse est basée sur les valeurs d'hétérozygoties observées et attendues, sous l'hypothèse d'équilibre de Hardy-Weinberg.

- Le F_{IS} mesure le déficit en hétérozygotes dans une sous-population ;
- Le F_{ST} évalue la différenciation génétique entre les sous-populations du fait de l'effet Wahlund. C'est un indicateur de la cohésion qui existe entre les sous-populations considérées et rend compte des flux de gènes entre populations ;
- Le F_{IT} mesure l'écart à l'équilibre de Hardy-Weinberg dans la population globale (déficit global en hétérozygotes du fait des croisements non aléatoires dans les sous-populations et de l'effet Wahlund).

Ces trois paramètres sont reliés par la relation $(1 - F_{IT}) = (1 - F_{IS})(1 - F_{ST})$.

De ces paramètres de structuration, nous nous sommes intéressés uniquement à l'indice F_{ST} tel que défini par Weir et Cockerham (1984) pour établir la différenciation génétique entre les sous populations.

$$F_{ST} = 1 - \frac{H_s}{H_e}$$

Le F_{ST} est compris entre 0 (absence de différenciation entre populations) et 1 (différenciation totale entre populations). Dans le modèle de Weir et Cockerham (1984), les valeurs négatives de F_{ST} signifient également une absence de différenciation génétique.

L'ensemble des paramètres de diversité et de structuration génétique ont été estimés à différentes échelles spatiales (village, zone agro-écologique), entre variétés ancienne et introduite, et entre couleurs du grain, avec le logiciel FSTAT version 2.9.3 (Goudet, 2001).

Les valeurs de richesse allélique (R_s) tout comme les hétérozygoties attendues ont été comparées entre les villages par un test de rang de Wilcoxon (1945), avec le logiciel Statistica version 5. (Statsoft, 2300 E.14th Street, Tulsa, OK 74104).

Une Analyse de la Variance Moléculaire (AMOVA) a été réalisée avec le logiciel Arlequin version 3.0 (Excoffier et Schneider, 2005), afin d'établir la part de variance attribuable aux facteurs « zone agro-écologique, village et variété ». L'AMOVA est basée sur les valeurs de distances génétiques inter-individus en prenant en compte l'information apportée par l'ensemble des marqueurs microsatellites.

Deux analyses descriptives ont été réalisées avec le logiciel DARwin, version 5.0. 150 (Perrier et Jacquemoud-Collet, 2006) :

- Une Analyse Factorielle sur Tableau de Distances (AFTD) pour donner une structuration de la diversité ;
- Une Classification par la méthode « Neighbor-Joining » ou des plus proches voisins de Saitou et Nei (1987), en utilisant comme critère d'agrégation la moyenne non pondérée. La robustesse des nœuds a été évaluée par ré-échantillonnage (1000 bootstraps) sur les locus.

Ces deux analyses ont été réalisées avec les données de dissimilarités génétiques en utilisant l'indice « simple matching » (Sokal et Michener, 1958) ; c'est une mesure du nombre d'allèles communs à deux individus par rapport au nombre total d'allèles.

$$d_{ij} = 1 - \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{m_l}{\pi}$$

d_{ij} est la dissimilarité entre les individus i et j ; L le nombre de locus ; π = ploïdie ;

m_l est le nombre d'allèles identiques au locus l .

Enfin, un test de corrélation de Mantel (1967) a été réalisé sur les matrices de dissimilarités agro-morphologiques obtenues par la CHA et celle obtenue par la Classification Neighbor-Joining, afin de voir la nature de la corrélation entre diversités agro-morphologique et génétique.

II. RESULTATS

II.1 Diversité variétale nommée par les paysans dans les dix villages de l'étude

Dans les dix villages prospectés (tableau I), les paysans accordent une importance particulière à la diversité variétale. En moyenne, le nombre de variétés par village est plus élevé dans les zones sub-Sahélienne (12,3 variétés) et surtout nord-Soudanienne (17,7 variétés) les plus arides par rapport à la zone sud-Soudanienne (7,3 variétés). Le village de Pouni-nord affiche la plus forte diversité variétale avec 30 variétés.

Les variétés à grain blanc sont majoritaires dans les villages comparativement aux variétés à grain rouge. Le grain blanc sert prioritairement à la préparation du tô (pâte épaisse, aliment essentiel des populations rurales), et de plus en plus au maltage pour la bière locale. Le grain rouge est préférentiellement destiné à la soudure et à la préparation de la bière locale, très consommée au cours des cérémonies traditionnelles.

En moyenne, 71,8 % des variétés ont été introduites par le biais des échanges inter villages, au cours des 20 dernières années qui ont précédé la collecte. Les variétés anciennes qui ont été maintenues présentent des caractéristiques de cycle ou de grain qui conviennent aux préférences alimentaires des paysans, aux rites ancestraux et à la pharmacopée. Les villages de Dablo, Kéra, Sidogo et Velia ont présenté plus de variétés anciennes comparativement aux autres villages : de 43 % à 67 % des variétés cultivées dans le village.

Les pratiques agricoles sont assez similaires d'un village à l'autre. On retrouve aussi les mêmes panels variétaux du point de vue racial, mais différenciés par la durée du cycle, la couleur des glumes, du grain, etc. Les variétés occupent souvent des aires de cultures et des types de sols différents selon leur cycle et leur adaptabilité. Le sorgho est couramment cultivé en association avec le niébé [*Vigna unguiculata* (L.)] ou le mil [(*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), mais rarement avec d'autres cultures.

II.2 Analyse de la variabilité agro-morphologique

II.2.1 Caractérisation des races botaniques et variabilité agro-morphologique

La description des caractères de l'épillet selon Harlan et de Wet (1972) a permis d'identifier deux races principales et une race intermédiaire de sorgho.

- Les *Guinea* représentent 94,4 % de l'échantillon, et sont composés de 2 sous races : les *gambicum* (96,6 %) et les *margaritifera* (3,4 %) ;
- Les *Bicolor* 0,8 % et ;
- Les *Durra-Bicolor (membranaceum)* 0,8 %.

Quatre pour cent (4,0 %) des variétés n'ont pu être déterminés botaniquement : il s'agit des entrées S7-10, S8-13, S10-12, S8-12 et M9-9 qui seraient des hybrides de *Guinea*. La figure 9 montre les principales races botaniques identifiées dans l'étude.



*Guinea
gambicum*



*Guinea
margaritifera*



Indéterminé



Durra-Bicolor



Bicolor

Figure 9 : principales races botaniques identifiées dans l'étude

Quatre vingt dix huit virgule quatre pour cent (98,4 %) des variétés ont présenté des plantes anthocyanées, 74,2 % sont à grain blanc, les variétés à grain orangé et rouge représentent respectivement 13,7 % et 12,1 % du matériel végétal. La majeure partie des variétés (83,9 %) est sans couche brune et présente une vitrosité comprise entre 1,5 et 3,0 selon l'échelle IBPGR/ICRISAT (1993). La durée du cycle varie entre 57,7 et 85,5 jours dans la zone sub-Sahélienne, 68,2 et 86,1 jours dans la zone nord-Soudanienne, 72,0 et 97,5 jours dans la zone sud-Soudanienne. Le cycle suit un gradient Nord-Sud ; il est en moyenne plus précoce au Nord (75,3 jours) qu'au Sud (85,4 jours) (tableau IV). Les variétés à grain rouge ont présenté une durée moyenne de cycle de 73,8 jours; les variétés à grain blanc et orangé ont présenté une durée de cycle comparable qui est de 79,4 jours. Le test de comparaison de moyennes des durées de cycle entre les variétés à grain rouge et les variétés à grain blanc montre une différence significative ($p < 0,01$) entre les deux types variétaux. Douze virgule un pour cent (12,1 %) des variétés ont montré une sensibilité modérée à la photopériode ($0,4 \leq K \leq 0,5$), 81,5 % une sensibilité relativement importante ($0,5 < K \leq 0,8$) et 6,4 % une sensibilité plus forte ($0,8 < K \leq 1$).

La vérification de la normalité de la distribution des résidus parcellaires a conduit à l'élimination de la variable Tu (tallage utile) qui a montré une distribution non normale. Si l'on considère les effets fixes (tableau V), les analyses de la variance des neuf variables quantitatives ont montré un effet année significatif pour toutes les variables. Ce résultat indique que ces variables sont sensibles à la variabilité des conditions environnementales, en particulier aux variations pluviométriques. Cela est moins marqué quand on considère le facteur zone agro-écologique (pas toujours significatif), encore plus faible pour l'interaction année x zone-agroécologique (non significatif, sauf pour le rendement). En ce qui concerne les effets aléatoires, on observe dans tous les cas des variances élevées pour le facteur « diversité variétale dans le village », comparé au facteur « diversité variétale entre villages dans la zone agro-écologique ». Les interactions variété x année et village x année sont aussi moins fortes. Les coefficients de détermination montrent que le facteur « variété » explique 84,8 % de la variance du cycle et 79,0 % du poids de 1000 grains. A l'opposé, les facteurs village et zone agro-écologique suspectés être à l'origine de différences d'expression des caractères ne jouent qu'un faible rôle, sauf pour le cycle (tableau VI).

Tableau IV : valeurs moyennes des caractères agro-morphologiques par zone agro-écologique

Variables	Sub-Sahélienne	Nord-Soudanienne	Sud-Soudanienne
Cycle semis-50 % épiaison (jours)	75,3 ± 5,7	79,1 ± 3,6	85,4 ± 6,5
Hauteur de plante (cm)	296,7 ± 26,8	314,0 ± 19,8	326,1 ± 27,7
Nombre moyen de feuilles	21,6 ± 1,5	22,3 ± 0,9	23,5 ± 1,3
Longueur de feuille (cm)	63,5 ± 4,0	63,4 ± 3,2	61,5 ± 4,2
Largeur de feuille (cm)	6,8 ± 0,4	6,6 ± 0,4	6,4 ± 0,4
Longueur de panicule (cm)	32,1 ± 4,7	32,2 ± 3,1	32,6 ± 3,4
Poids de panicule (g)	254,7 ± 41,7	247,9 ± 38,9	211,1 ± 49,4
Poids de 1000 grains (g)	22,4 ± 3,5	22,1 ± 2,1	20,4 ± 2,9
Rendement (Rdt) (kg/ha)	2410 ± 401,4	2330 ± 390,4	1930 ± 594,3

Tableau V : résultats des analyses de variances des variables agro-morphologiques

	Cycle semis- épiaison (jours)	Hauteur de plante (cm)	Nombre moyen de feuilles	Longueur de feuille (cm)	Largeur de feuille (cm)	Longueur de panicule (cm)	Poids de panicule (g)	Poids de grain (g)	Poids de 1000 grains (g)
Minimum	57,0	154,0	17,0	42,0	4,4	18,8	24,1	36,6	9,8
Maximum	98,0	443,0	27,2	78,6	9,2	49,4	558,2	411,0	37,9
Moyenne	78,7	308,2	22,2	63,0	6,6	32,2	243,6	182,7	21,9
F variables									
Effets fixes :									
Année	184,62**	20,12**	7,14**	47,21**	26,6**	4,70*	42,58**	39,89**	37,48**
Zone	13,32**	2,96	5,83**	1,27	3,92*	0,13	7,02**	5,92**	2,27
Année x zone	2,41	2,93	1,93	2,91	1,06	2,29	1,28	0,26	5,89**
Estimation des variances									
Effets aléatoires									
Village (zone)	3,00 (10,1)	122,10 (6,0)	0,24 (8,0)	1,02 (2,9)	0,00 (0,0)	2,93 (11,9)	28,9 (0,5)	42,80 (1,1)	0,48 (4,9)
Village x année (zone)	0,12 (0,4)	41,40 (2,0)	0,07 (0,2)	1,92 (5,5)	0,02 (3,9)	0,32 (1,3)	27,1 (0,5)	52,3 0 (1,3)	0,02 (0,2)
Variété (village (zone))	23,33 (78,2)	369,90(18,0)	1,01 (36,2)	9,33 (26,6)	0,13 (24,5)	12,36 (50,3)	769,8 (12,7)	574,90 (14,4)	7,20 (73,0)
Variété x année	0,87 (2,9)	139,0 0(6,8)	0,22 (0,7)	2,11 (6,0)	0,00 (0,0)	0,48 (2,0)	210,8 (3,5)	149,50 (3,8)	0,76 (7,7)
Répétition (année)	0,00	1,40	0,04	0,02	0,001	0,43	0,00	0,00	0,00
Bloc (répétition (année))	0,45	573,80	0,31	2,50	0,03	2,22	332,80	2 37,50	0,13
Résiduelle	2,01	785,90	0,90	18,23	0,34	5,82	4702,80	2931,80	1,28
Coefficient de Variation	8,4	15,9	8,0	10,4	11,5	14,8	33,8	36,7	14,7

* effet significatif du facteur (P < 0,05) ; ** effet hautement significatif du facteur (P < 0,01)

NB : Entre parenthèse, la contribution en pourcentage du facteur village dans la zone ; du facteur variété dans le village dans une même zone et leurs interactions

Tableau VI : établissement des R² des caractères agro-morphologiques

Variabes	Variété	Année	Village	Zone
Cycle semis-épiaison (jours)	84,8**	6,6**	37,4**	27,8**
Hauteur de plante (cm)	25,6**	9,8**	11,1**	6,8**
Nombre moyen de feuilles	41,0**	4,3**	18,8**	11,1**
Longueur de feuille (cm)	22,8**	19,6**	6,9**	2,1**
Largeur de feuille (cm)	22,6**	10,7**	8,5**	3,1**
Longueur de panicule (cm)	58,1**	1,8**	15,7**	0,3 NS
Poids de panicule (g)	14,5**	7,6**	3,9**	3,2**
Poids de grains (g)	16,9**	8,0**	5,3**	3,8**
Poids de 1000 grains (g)	79,0**	1,6**	12,3**	5,0**

** effet hautement significatif du facteur ($P < 0,01$) ;

NS : non significatif

La productivité moyenne en grain du matériel est de 2 289 kg/ha. Quarante neuf virgule deux pour cent (49,2 %) des variétés ont présenté un rendement supérieur à cette moyenne. Neuf variétés de la race botanique *Guinea gambicum*, dont sept à grain blanc ont présenté des rendements moyens supérieurs ou égaux à 3 000 kg/ha (tableau VII) ; leur cycle varie entre 72,1 et 80,7 jours. La variété S7-11 de Dablo a été la plus productive au cours des deux années d'expérimentation. Les variétés S8-10 de Guinsa, S10-9 de Sidogo et B10-30 de Pouni-nord ont été les plus régulières en présentant chacune un niveau de rendement presque équivalent sur les deux années d'expérimentations.

Tableau VII : meilleures variétés locales des deux essais pour la productivité

N° de Collecte	Village	Cse (jours)	Hp (cm)	Nf	Lf (cm)	Laf (cm)	Lpa (cm)	Ppa (g)	P1g (g)	Rdt (kg/ha)	Cgr	Vit
S7-11	Dablo	72,1	315,1	21,8	65,6	7,0	30,7	379,2	23,7	3500	blanc	3,0
M9-4	Biba	79,8	348,0	23,6	66,6	7,2	35,7	353,7	22,0	3300	orangé	3,0
S8-10	Guinsa	72,5	275,4	21,8	60,5	7,5	25,5	347,0	26,1	3300	blanc	3,0
B5-11	Velia	80,7	326,5	23,2	65,2	6,7	35,3	333,0	21,4	3200	blanc	3,0
S10-1	Sidogo	75,6	338,7	22,8	66,3	6,9	35,6	325,4	22,1	3200	blanc	3,0
B10-30	Pouni-n	76,3	316,1	22,0	67,8	6,6	34,5	313,6	23,0	3100	blanc	3,0
B10-5	Pouni-n	77,5	328,4	22,5	57,7	6,8	30,6	308,9	24,1	3100	blanc	3,0
S10-9	Sidogo	76,6	339,7	23,0	63,8	7,3	32,9	315,8	23,0	3000	blanc	3,0
B2-6	Lon	75,9	307,9	22,7	60,0	6,6	28,2	293,0	22,2	3000	rouge	4,5

II.2.2 Structuration de la variabilité

La Classification Hiérarchique Ascendante réalisée avec les neuf variables quantitatives et la vitrosité, toutes considérées comme variables actives donne cinq groupes principaux (figure 10).

- Le groupe 1 rassemble sept variétés locales, dont deux *margaritifera*. Ce groupe présente en moyenne les valeurs les plus élevées pour la longueur du cycle (90,5 jours), le nombre de feuilles, la hauteur de plante, une bonne vitrosité du grain, mais présente un faible poids de 1000 grains ;

- Les groupes 2 et 3 rassemblent respectivement 48 et 22 variétés locales. Ils présentent en moyenne un cycle de 81,9 jours et de 78,9 jours. En dehors de la longueur de panicule, du poids de panicule, du poids moyen de grain par parcelle et du poids de 1000 grains, ces deux groupes sont peu différenciés sur la base des autres caractères agromorphologiques ;

- A l’opposé, les groupes 4 et 5 ont présenté des cycles respectifs de 73,7 et 73,6 jours. Dans le groupe 4 qui rassemble 30 variétés locales, on retrouve le *Durra-Bicolor* et deux autres *margaritifera*. Le groupe 5 réunit 17 variétés dont l’ensemble des 15 *Guinea gambicum* à grain rouge. Ces deux groupes ont présenté les plus faibles durées de cycle, nombre de feuilles, hauteur de plante, longueur de panicule, mais les plus fortes valeurs de poids de 1000 grains ; cependant, ils se différencient par une plus faible vitrosité du grain des variétés du groupe 5. Le tableau VIII récapitule les caractéristiques moyennes de chaque groupe.

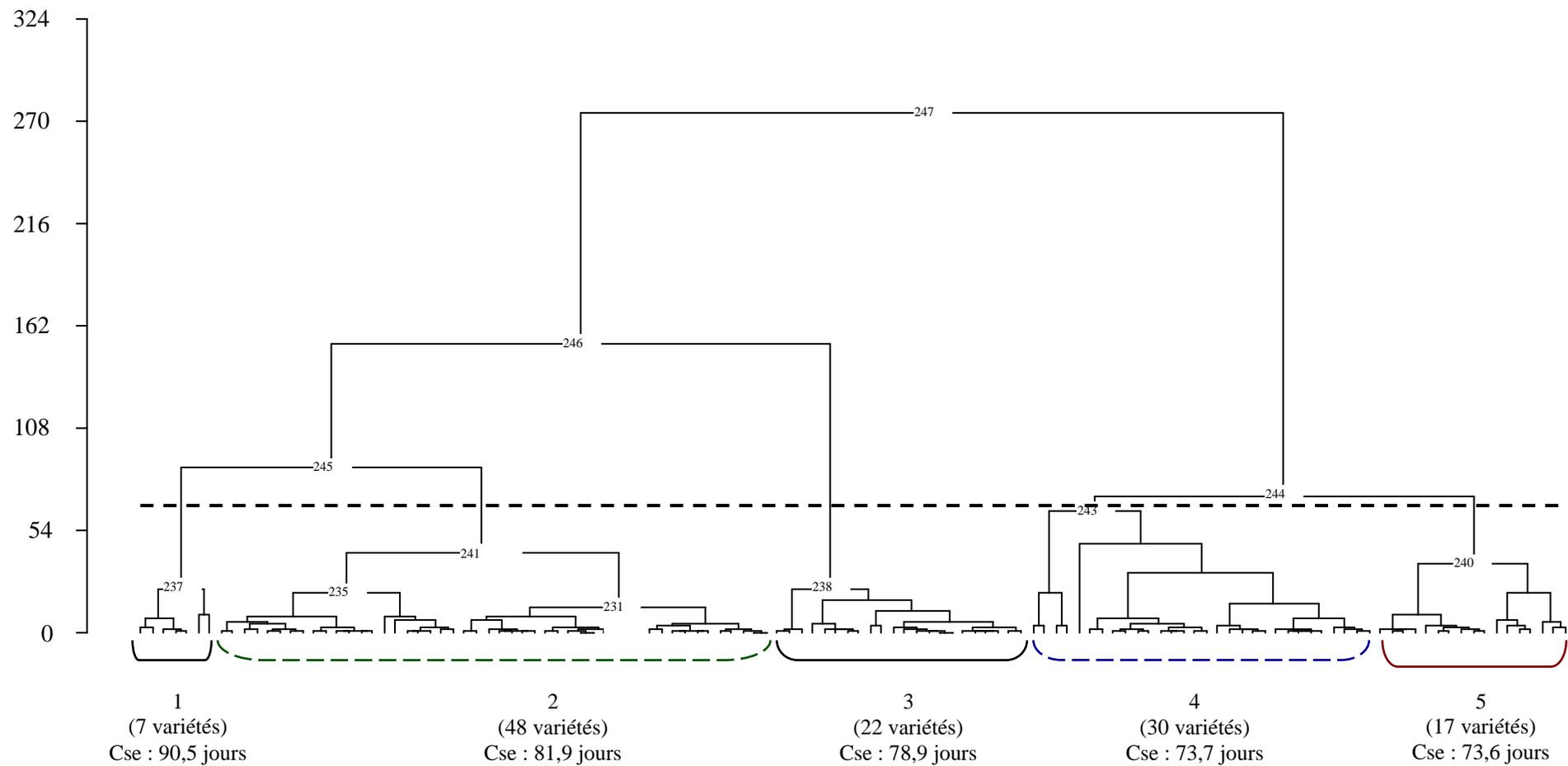


Figure 10 : structuration agro-morphologique des 124 variétés locales par la méthode de la Classification Hiérarchique Ascendante selon l’algorithme de WARD (1963). Les valeurs aux nœuds indiquent des ruptures d’indice de niveau qui ont permis la constitution des différentes classes

Tableau VIII : caractéristiques moyennes pour les cinq groupes établis par la CHA

Groupes	Cycle semis-50 % épiaison (jours)	Hauteur de plantes (cm)	Nombre de feuilles	Longueur de feuilles (cm)	Largeur de feuilles (cm)	Longueur de panicule (cm)	Poids des panicules par parcelle (g)	Poids des grains par parcelle (g)	Poids de 1000 grains (g)	Vitrosité du grain (IBPGR)
A	90,5	338,1	24,8	59,9	6,3	35,6	159,9	103,2	17,0	2,3
B	81,9	322,4	22,7	63,9	6,5	32,8	226,0	167,9	21,2	2,8
C	78,9	320,8	22,5	67,3	7,0	36,0	292,6	218,5	22,3	3,1
D	73,7	287,3	21,2	61,8	6,8	30,1	255,7	194,6	23,0	3,0
E	73,6	284,7	21,3	58,7	6,5	28,0	246,3	193,0	23,7	4,6

La caractérisation des groupes par l'Analyse Factorielle Discriminante donne une variance totale de 84,6 % pour les deux premiers axes factoriels. La discrimination des groupes s'est faite par ordre sur la base des caractères morphologiques (largeur de feuille, nombre de feuilles et longueur de feuille), de vitrosité du grain, de longueur du cycle, de longueur de panicule et du poids de 1000 grains.

NB L'analyse des corrélations entre caractères auraient aussi fourni une information complémentaire

II.3 Analyses moléculaires

II.3.1 Polymorphisme génétique et diversité allélique

Les paramètres de diversité génétique ont été calculés avec 29 locus microsatellites (SSR) pour les 124 variétés locales (tableau IX). Six locus sont apparus monomorphes : gpsb123, SbAGB02, Xcup62, Xtxp10, Xtxp136 et Xtxp339. Le locus Xtxp40 a montré des allèles nuls avec une fréquence de 8,9 % (11 variétés n'ont produit aucun allèle pour ce locus malgré la répétition du génotypage). Les six locus monomorphes et le locus Xtxp40 ont été soustraits des analyses descriptives établies avec le logiciel DARwin.

Le taux de polymorphisme est de 79,3 %. Entre 2 et 17 allèles ont été trouvés par locus, soit au total 143 allèles dénombrés. La diversité allélique est de 4,9 allèles par locus et 5,4 allèles par locus polymorphe. De très faibles fréquences alléliques (0,004 à 0,008) ont été observées sur 23 locus, révélant la présence de 38 allèles rares au sein de 22 variétés, dont 15 variétés à grain blanc : 17 allèles sont spécifiques aux *Guinea gambicum*, 4 aux *margaritifera*, 8 au *Durra-Bicolor*, 5 au *Bicolor* et 4 allèles aux indéterminés. A l'exception de l'allèle 4 du locus SbAGB02 trouvé à l'état hétérozygote dans 2 variétés *gambicum* S7-8 et S10-2 de Dablo et de Sidogo, aucun autre allèle rare n'a été observé en commun pour le reste des variétés. Les zones sub-Sahélienne, nord et sud-Soudanienne rassemblent respectivement 87,4 % ; 68,5 % et 65,7 % des allèles identifiés. La richesse allélique (R_s) est de 2,3. Elle varie entre 1,1 et 5,5 par locus et entre 1,8 et 2,5 par village. Les villages de Kéra, Dablo et Guinsa qui ont présenté les plus fortes richesses alléliques ($2,4 \leq R_s \leq 2,5$) sont statistiquement au même niveau, mais significativement différenciés du reste des villages.

II.3.2 Hétérozygotie attendue

La diversité génétique (He) pour l'ensemble du matériel végétal qui est de 0,37, est très variable entre les villages ($0,23 \leq He \leq 0,40$) (tableau X). Elle est relativement plus élevée pour les zones sub-Sahélienne (0,38) et nord-Soudanienne (0,35) par rapport à la zone sud-Soudanienne (0,23). Les variétés de Kéra, Dablo, Guinsa, Kassoum, Sidogo et Vélia se distinguent par une diversité génétique relativement plus élevée ($0,35 \leq He \leq 0,40$), tandis que Pouni-nord, malgré un effectif variétal plus important (30 variétés), a présenté la plus faible diversité génétique ($He = 0,23$). Le test de rang de Wilcoxon entre paires de villages a montré que ce groupe de six villages était significativement différencié de Sybi, Biba, Lon et Pouni-nord.

Les *Guinea gambicum* ont présenté une diversité de 0,32. Les valeurs de diversité sont assez proches entre variétés anciennes ($He = 0,38$) et variétés d'introduction plus récente ($He = 0,34$).

Tableau IX : paramètres génétiques des 124 variétés locales par locus

Locus	Taille des allèles dans la présente étude (en paire de bases)	A	H_o	H_s	H_e	F_{ST}
gpsb067	170-182	6	0,11	0,39	0,41	0,07
gpsb089	165-173	4	0,12	0,57	0,58	0,09
gpsb123	288-296	4	0,01	0,10	0,10	0,01
gpsb148	133-147	4	0,01	0,52	0,54	0,02
gpsb151	104-112	5	0,16	0,61	0,68	0,11
SbAGB02	096-116	4	0,03	0,06	0,06	0,05
SB4-72 (Xgap72)	183-197	7	0,06	0,38	0,39	0,01
SB5-206 (Xgap206)	108-146	6	0,07	0,33	0,33	-0,0
SB6-84 (Xgap84)	181-199	6	0,07	0,32	0,33	0,04
Xcup02	186-204	5	0,15	0,59	0,68	0,19
Xcup07	251-269	7	0,11	0,64	0,67	0,03
Xcup11	165-172	2	0,00	0,12	0,12	-0,01
Xcup14	211-233	7	0,02	0,33	0,37	0,13
Xcup61	198-201	2	0,10	0,32	0,36	0,14
Xcup62	190-193	2	0,00	0,02	0,02	0,00
Xcup63	139-145	2	0,08	0,46	0,48	0,05
Xtxp10	133-153	4	0,02	0,07	0,07	0,01
Xtxp15	201-215	6	0,07	0,26	0,30	0,14
Xtxp40	126-141	6	0,02	0,16	0,16	-0,01
Xtxp57	223-249	7	0,13	0,58	0,59	0,02
Xtxp65	122-136	5	0,09	0,57	0,63	0,10
Xtxp114	211-217	3	0,03	0,21	0,21	-0,00
Xtxp136	240-246	3	0,03	0,07	0,07	0,00
Xtxp145	206-214	4	0,04	0,47	0,46	0,01
Xtxp278	243-252	3	0,00	0,29	0,29	0,06
Xtxp289	263-275	4	0,03	0,19	0,19	0,03
Xtxp295	143-199	17	0,20	0,78	0,84	0,06
Xtxp320	257-284	6	0,11	0,59	0,57	-0,01
Xtxp339	191-200	2	0,00	0,08	0,07	-0,01

Tableau X : paramètres de diversité génétique et différenciation génétique selon différents facteurs, établis avec l'ensemble des 29 locus

	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>R_S</i>	<i>H_o</i>	<i>H_e</i>	<i>F_{ST}</i>
Villages	124					0,06*
Kéra	10	2,8	2,5	0,04	0,40 ± 0,23	
Dablo	12	3,0	2,5	0,04	0,38 ± 0,23	
Guinsa	15	3,0	2,4	0,05	0,36 ± 0,25	
Kassoum	8	2,2	2,1	0,06	0,36 ± 0,26	
Sidogo	14	2,8	2,2	0,11	0,35 ± 0,22	
Vélia	14	2,6	2,2	0,07	0,35 ± 0,24	
Sybi	6	2,0	2,0	0,04	0,33 ± 0,27	
Biba	9	2,1	2,0	0,02	0,29 ± 0,24	
Lon	6	1,9	1,8	0,12	0,27 ± 0,26	
Pouni-nord	30	2,4	1,8	0,09	0,23 ± 0,23	
Zones agro-écologiques	124					0,04*
Zone sub-Sahélienne	49	4,1	3,7	0,06	0,38 ± 0,23	
Zone nord-Soudanienne	53	3,9	3,3	0,07	0,35 ± 0,23	
Zone sud-Soudanienne	22	2,1	2,1	0,06	0,23 ± 0,23	
Origines	124					0,01
Variétés anciennes	35	3,8	3,7	0,06	0,38 ± 0,24	
Variétés récentes	89	4,2	3,5	0,07	0,34 ± 0,23	
Types de grains	124					0,08*
Blanc	91	4,2	3,0	0,06	0,33 ± 0,22	
Orangé	17	2,8	2,8	0,10	0,33 ± 0,26	
Rouge	16	3,1	3,1	0,06	0,35 ± 0,26	
Total	124	4,9	2,3	0,06	0,37	

* Effet significatif du facteur $P < 0,05$

N = nombre de variétés,

A = nombre moyen d'allèles par locus,

R_S = richesse allélique,

H_o = hétérozygotie observée,

H_e = hétérozygotie attendue,

II.3.3 Structuration de la diversité génétique

La différenciation génétique totale est faible ($F_{ST} = 0,06$) mais significative ($p < 0,05$) avec un intervalle de confiance de $[0,04 - 0,09]$. Si l'on considère les valeurs de F_{ST} par paire de villages, seul Pouni-nord se différencie significativement des autres villages avec des valeurs de $0,07 \leq F_{ST} \leq 0,16$ (tableau XI), mais ce résultat est à considérer avec prudence en raison du déséquilibre dans les effectifs variétaux par village.

La structuration génétique entre les zones agro-écologiques est également faible ($F_{ST} = 0,04$) mais significative avec un intervalle de confiance $[0,02 - 0,07]$. Les F_{ST} par paire montrent une plus faible différenciation entre les zones sub-Sahélienne et nord-Soudanienne ($F_{ST} = 0,02$), comparée aux deux zones extrêmes (sub-Sahélienne et sud-Soudanienne) les plus contrastées ($F_{ST} = 0,10$) (tableau XII). Aucune structuration significative n'est observée entre variétés anciennes et d'introduction ($F_{ST} = 0,01$). C'est entre types variétaux de couleur de grain que la différenciation génétique est la plus élevée et significative ($F_{ST} = 0,08$, $p < 0,05$), avec un intervalle de confiance $[0,04 - 0,11]$. La différenciation génétique est non significative entre variétés à grain blanc et variétés à grain orangé ($F_{ST} = 0,02$). En revanche, les variétés à grain orangé et les variétés à grain blanc diffèrent significativement des variétés à grain rouge ($0,10 \leq F_{ST} \leq 0,13$). Les locus Xtxp145 et gpsb067 sont à l'origine de cette discrimination entre couleur de grain, avec respectivement des F_{ST} de 0,22 et 0,35.

Tableau XI : différenciation génétique (F_{ST}) par paire de villages

Villages	Guinsa	Sidogo	Kassoum	Biba	Vélia	Pouni-nord	Sybi	Kéra	Lon
Dablo	-0,01	0,01	-0,02	0,04	0,02	0,11*	0,02	0,02	0,03
Guinsa		-0,01	-0,02	0,02	0,02	0,13*	0,04	0,05	0,02
Sidogo			0,00	0,04	0,03	0,13*	0,05	0,06*	0,04
Kassoum				0,04	0,04	0,13*	0,05	0,00	0,06
Biba					0,03	0,09*	0,09	0,11*	0,09
Vélia						0,07*	0,00	0,05	-0,03
Pouni-nord							0,13*	0,15*	0,16*
Sybi								0,00	-0,01
Kéra									0,05

* Effet significatif du facteur $P < 0,05$

Tableau XII : différenciation génétique (F_{ST}) par paire de zones

Zones agro-écologiques	Nord-Soudanienne	Sud-Soudanienne
Sub-Sahélienne	0,02	0,10*
Nord-Soudanienne	-	0,04*

L'analyse de la variance moléculaire (tableau XIII) attribue 4,5 % de la variabilité génétique à la différence entre zones agro-écologiques, 5,8 % à la différence entre villages dans une même zone, et 89,7 % à la différence entre variétés au sein d'un même village.

Tableau XIII : résultats de l'analyse des variances moléculaires des 124 variétés locales

Source de variation	Degré de liberté	Somme des carrés	Composante de la variance	Pourcentage de variance expliqué
Entre zones agro-écologiques	2	6,56	0,23	4,5
Entre villages d'une même zone	7	79,06	0,29	5,8
Entre variétés d'un même village	238	1077,19	4,53	89,7

Une Analyse Factorielle sur Tableau de Distance (AFTD, figure 11), réalisée avec l'ensemble des 124 variétés à partir des données matricielles montre une structuration des variétés en deux groupes, sur les deux premiers axes factoriels : un groupe de *Guinea margaritifera* et un groupe presque exclusif de *Guinea gambicum* auquel se rattachent les indéterminés S8-12, S8-13, M9-9. Le *Durra-Bicolor* et le *Bicolor* semblent isolés. Cinq axes expliquent la variance totale. Les deux premiers portent 29,3 et 22,8 % de l'inertie totale. Les valeurs des \cos^2 montrent que l'axe 1 est plus expliqué par le groupe des *margaritifera* et deux indéterminés S7-10 et S10-12 ; l'axe 2 est expliqué par les *gambicum*.

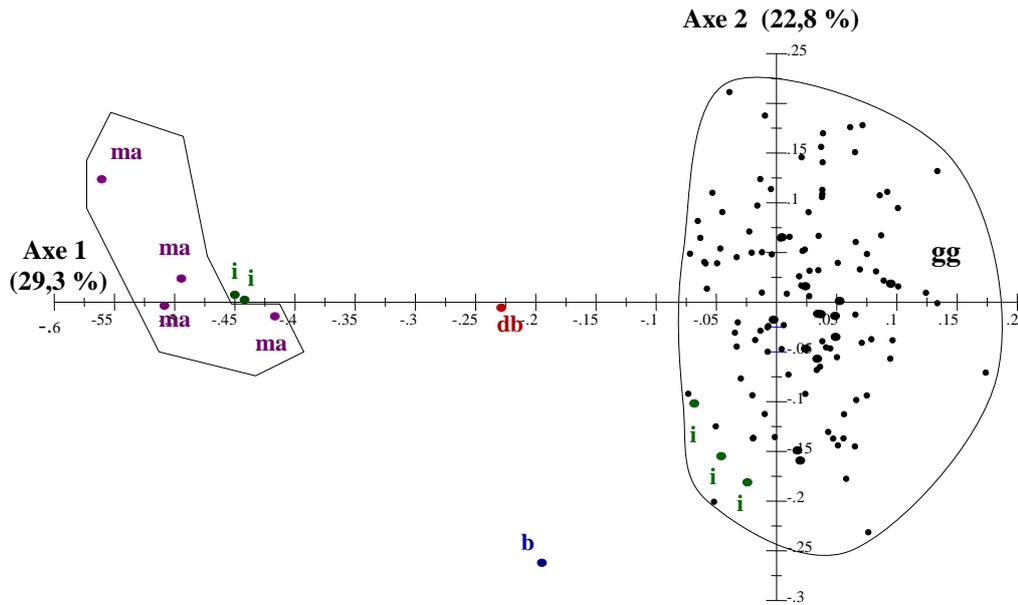
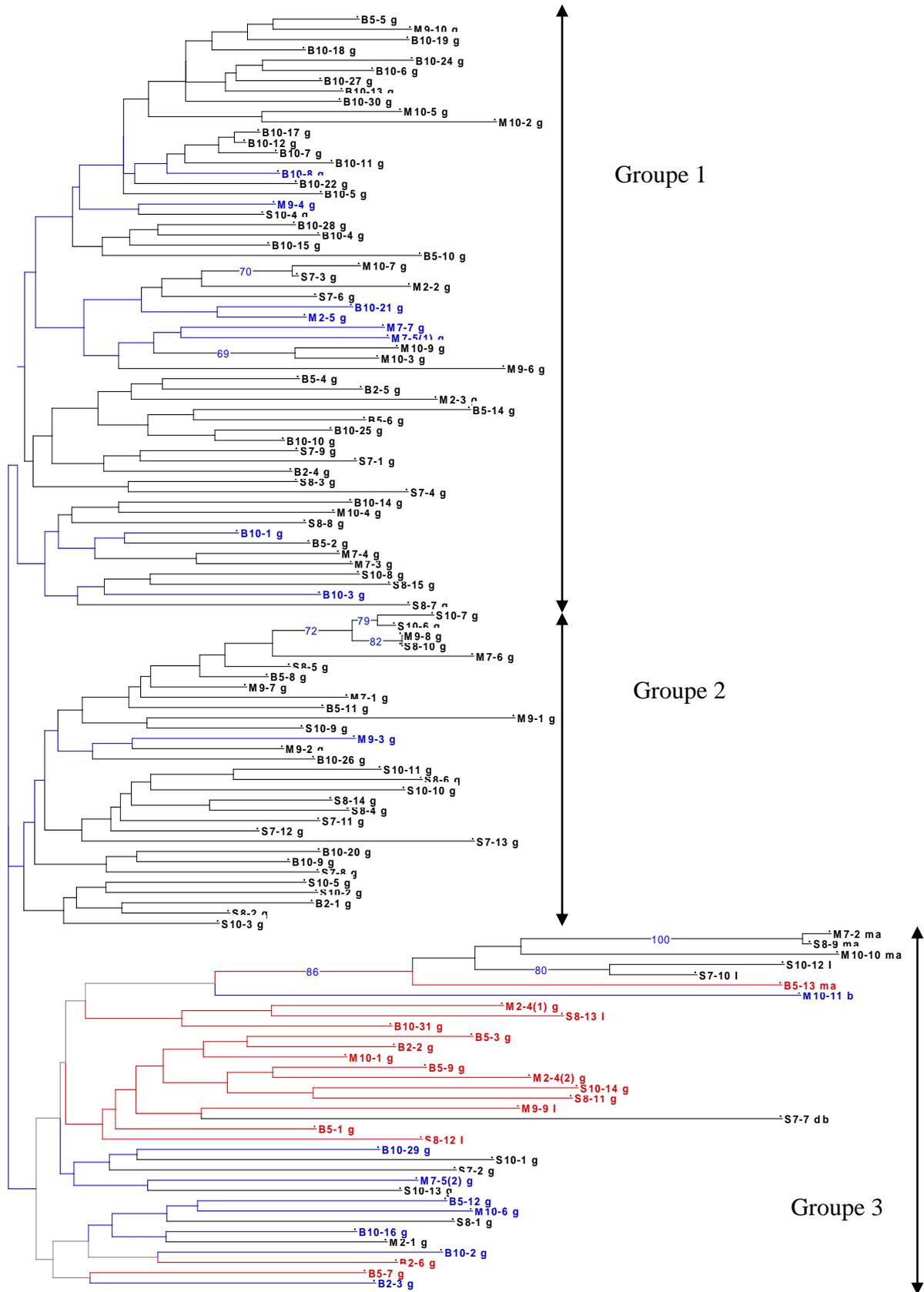


Figure 11 : structuration des 124 individus sur les axes 1 x 2 de l'AFTD

La structuration génétique par la méthode « Neighbor-Joining » met en évidence trois groupes de variétés (figure 12). Le groupe 1 et le groupe 2 rassemblent respectivement 58 et 31 individus appartenant tous au type botanique *Guinea gambicum* ; 75 % des variétés du groupe 1 appartiennent au village de Pouni-nord. Dans le groupe 3, on retrouve un sous groupe spécifique de *margaritifera* assez proche génétiquement des indéterminés S7-10 et S10-12, ainsi que du *Bicolor*. Les variétés à grain rouge se retrouvent exclusivement dans ce groupe et sont assez proches génétiquement de quelques variétés à grain orangé et de quelques variétés à grain blanc. La discrimination de ces groupes ne s'apparente à aucune entité.

Nous avons évalué dans quelle mesure la diversité génétique neutre pouvait être corrélée à la diversité agro-morphologique c'est-à-dire que nous avons voulu voir si des individus génétiquement proches le sont aussi agro-morphologiquement. Dans cette approche analytique, les cinq groupes issus de la Classification Hiérarchique Ascendante ont été rapprochés des trois groupes de diversité génétique (figure 13). A l'exception des deux variétés *gambicum* à grain blanc S8-5 et S10-5 rattachées au groupe génétique 2, l'ensemble des variétés à grain rouge du groupe agro-morphologique 5 est classé dans le groupe génétique 3.

Le test de corrélation de Mantel réalisé entre matrices de dissimilarités génétiques et agro-morphologiques est significatif ($r = 0,45$, $P < 0,001$) et traduit bien l'existence d'une corrélation positive entre diversité agro-morphologique et diversité génétique.



Légende : à l'assise chaque point est caractérisé par le numéro de collecte et sa race d'appartenance. En rouge les variétés à grain rouge, en bleu les variétés à grain orangé et en noir les variétés à grain blanc.

Figure 12 : dendrogramme établi avec 22 locus SSR polymorphes pour 124 variétés locales en utilisant l'indice de dissimilarité génétique « simple matching »

III. DISCUSSION

III.1 Diversité variétale nommée par les paysans

Les résultats de cette étude ont montré que les paysans d'un même village cultivent une grande diversité variétale (12,4 variétés en moyenne). Cette importante diversité permet sans doute de répondre à la diversité des environnements de culture, et aussi de minimiser les risques climatiques et d'optimiser les récoltes. La variabilité des cycles entre les variétés dans un même village illustre bien cette stratégie paysanne. A l'instar de plusieurs pays d'Afrique, au Burkina Faso, certaines variétés sont largement associées aux traditions animistes séculaires. Les pratiques de conservation des semences soulignent l'importance des croyances traditionnelles, telle la nécessité de maintenir certaines variétés qui étaient cultivées par les parents en respect de leur mémoire. Il y a donc là un facteur social important de conservation de la diversité variétale par les paysans.

III.2 Diversité agro-morphologique des sorghos

L'analyse des groupes botaniques a montré une prédominance de la race *Guinea* (94,4 %), presque entièrement représentée par la sous race *gambicum* (96,6 %). Un tel résultat a déjà été observé par Sapin (1984) et Zongo (1991) sur un échantillon national. Dans d'autres pays comme le Nigeria et le Tchad, la composition raciale est différente, les *Guinea* ne représentent respectivement que 40,2 % et 7,0 % des variétés cultivées (Yagoua, 1994). Cette prédominance de la race *Guinea* s'explique par la situation biogéographique du Burkina Faso au cœur du centre de diversification de cette race et, aussi par une forme d'homogénéité culturelle concernant les pratiques agricoles. Les *Guinea* sont particulièrement bien adaptés aux climats tropicaux sub-humides. Leurs caractéristiques agronomiques et leurs qualités technologiques multiséculaires sont ancrées profondément dans les mœurs, et conviennent parfaitement aux habitudes et préférences alimentaires des populations rurales. Dans l'échantillon ici caractérisé, c'est la seule race botanique rencontrée dans la zone sud-Soudanienne la plus arrosée de l'étude (> 1000 mm).

Les caractères présence d'anthocyanes tout comme le grain blanc prédominent dans l'échantillon. Sélectionné sciemment ou inconsciemment, la prédominance du caractère

anthocyané, pourrait s'expliquer par le fait qu'il confère aux variétés des formes de résistance aux stress biotiques [caractère expliqué par la présence de composés phénoliques 3-deoxyanthocyanidins (Dicko et *al.*, 2005)] ; de plus, les variétés à grain blanc présentent des qualités bien adaptées aux mets courants comparés aux variétés à grain rouge plus aptes pour la soudure et la bière locale.

Les analyses de variance ont mis en évidence un effet année significatif pour tous les caractères agro-morphologiques (tableau V). Ce résultat obtenu en station agronomique donne à penser que les interactions variété x environnement pourraient être beaucoup plus marquées en milieu paysan où les conditions de culture sont extrêmement hétérogènes dans l'espace et dans le temps. Un résultat particulièrement intéressant concerne les deux facteurs aléatoires « diversité variétale dans le village » et « diversité variétale entre villages dans la zone ». La constante prédominance du facteur variété dans le village suggère une diversité variétale plus importante dans un même village, qu'entre villages dans une même zone agro-écologique. Ce niveau de variance variétale dans un même village n'est pas étonnant, car les paysans cultivent plusieurs variétés de caractéristiques différentes, pour répondre à la variabilité des environnements de culture, des usages et remédier aux risques climatiques. Trois variables contribuent fortement aux variances variétales : la longueur du cycle semis-épiaison (78,2 %), la longueur de panicule (50,3 %), et le poids de 1000 grains (73,0 %). Ce résultat indique que la variabilité variétale est principalement dépendante de ces caractères, qui seraient les plus considérés dans le processus de sélection paysan.

Les caractères de durée de cycle, de hauteur de plantes et de rendement sont ceux dont l'établissement apparaît le plus associé aux différences climatiques, comme le montrent les valeurs moyennes du tableau IV. La productivité, même si elle est déterminée génétiquement, décroît en moyenne avec la durée du cycle. La plus faible productivité a été enregistrée avec les variétés de cycle long déplacées de leurs zones de culture. Cette situation pourrait s'expliquer par un déficit hydrique en fin de campagne, et une non efficacité des assimilats cumulés au cours de la croissance. En référence à d'autres travaux (Folliard et *al.*, 2004 ; Clerget et *al.*, 2007), les niveaux de réponse à la photopériode dans cette étude, montrent que la durée du cycle est le principal critère d'adaptation d'une variété à sa zone de culture.

Le fait que les facteurs « village et zone agro-écologique » aient une faible part explicative dans la variabilité agro-morphologique était inattendu. Ces facteurs sont souvent suspectés d'être à l'origine d'une structuration de la diversité. Ce résultat indique que la diversité est assez similaire d'un village à l'autre. Du reste, la Classification Hiérarchique Ascendante ne montre aucune structuration liée à ces deux facteurs. La structuration reste

essentiellement attribuable à la couleur du grain, avec une nette distinction entre variétés à grain rouge et à grain blanc, déjà observée par Barro-Kondombo et *al.*, (2008) sur un échantillon plus large de variétés Burkinabé.

III.3 Diversité et structuration génétique des sorghos

III.3.1 Diversité génétique des sorghos

La diversité génétique révélée dans cette étude est à comparer avec prudence à celle d'autres auteurs du fait de la différence des outils d'investigation utilisés, de la taille et de la composition raciale des échantillons.

En considérant les études de diversité génétique, conduites sur des variétés locales de sorgho, les valeurs des paramètres estimés dans cette étude ($P = 79,3\%$; $A = 4,9$; $He = 0,37$) sont supérieures à celles rapportées par Ollitrault (1987), Morden et *al.*, (1989), Zongo (1991), Aldrich et *al.*, (1992b), avec des marqueurs enzymatiques (annexe 5). Si nous considérons les données de marqueurs microsatellites, les valeurs de diversité de cette étude sont bien inférieures à celles rapportées par Ghebru et *al.*, (2002) sur les sorghos de l'Erythrée par Uptmoor et *al.*, (2003) sur les sorghos de l'Afrique australe, et aussi à ceux établis par Deu et *al.*, (2008), sur les sorghos du Niger, pour lesquels 27 marqueurs nous sont communs.

Si avec les mêmes types de marqueurs la diversité observée dans cet échantillon est inférieure à celle rencontrée dans des pays ou régions de plus grande diversité raciale, elle reste cependant comparable à celle présente à l'intérieur de la race botanique *Guinea*. Ainsi, Folkertsma et *al.*, (2005) ont analysé 100 accessions *Guinea* de cinq sous-races (*gambicum*, *guineense*, *conspicuum*, *margaritififerum* et *roxburghii*) de la core collection provenant de 11 pays d'Afrique (orientale, occidentale et australe) et d'Asie. Onze des 21 marqueurs microsatellites utilisés sont partagés avec cette étude ; ces auteurs ont rapporté une diversité de 0,36 au niveau pays et concluent à une plus grande diversité génétique des *Guinea* d'Afrique occidentale comparée aux *Guinea* d'Afrique orientale, d'Afrique australe et d'Asie. Deu et *al.*, (2006) ont rapporté des résultats similaires sur les *Guinea* ($He = 0,35$) à l'aide de 74 marqueurs RFLP ; ils ont conclu que les *Guinea* d'Afrique occidentale étaient bien différenciés des *Guinea* d'Afrique australe et d'Asie qui étaient très proches génétiquement. Deu et *al.*, (2008) ont par ailleurs rapporté une valeur de diversité de 0,50 pour les *Guinea*,

montrant que ceux-ci pouvaient présenter une plus grande diversité génétique dans les régions de grande diversité raciale.

De manière générale, ces analyses comparatives montrent que la diversité génétique serait associée à la diversité botanique des échantillons, mais dépend aussi du type de marqueur utilisé. Les valeurs de diversité rapportées au niveau enzymatique sont inférieures à celles obtenues avec les autres marqueurs moléculaires (Renaud, 2008).

Considérée par zone agro-écologique, la plus forte diversité génétique est observée dans la zone sub-Sahélienne, la moins arrosée (500-700 mm). Cela pourrait s'expliquer par :

i) Le fait que dans les zones sèches, la diversité génétique contribue à la résilience des systèmes de culture de manière plus importante que dans les zones à pluviométrie élevée. Dans ces zones, il n'existe que peu d'alternatives agronomiques à la culture du sorgho et du mil ;

ii) Les considérations sociales sont plus importantes (rites ancestraux, pharmacopée) dans la région du Centre-nord (vom Brocke et Simporé, 2004) ;

iii) La zone sub-Sahélienne a été la plus touchée par les sécheresses récurrentes que le pays a connu depuis les années 1970. Les projets de développement intégré conduits par les ONG ont été surtout orientés sur la restauration de la fertilité des sols, ce qui a permis d'améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols, procurant de meilleures conditions à certaines variétés qui risquaient de disparaître.

III.3.2 Structuration génétique des sorghos

Si la faible différenciation génétique intra zone était plus ou moins attendue, celle observée entre les zones agro-écologiques ($F_{ST} = 0,04$) et entre les villages ($F_{ST} = 0,06$) bien que significative était inattendue. Cette faible différenciation est à mettre en relation avec une origine historique commune du pool de gènes *Guinea*, et sans doute, à l'existence de flux importants de semences, favorisés par les migrations humaines, notamment celles des Mossé à la recherche de terres plus fertiles. Ainsi, aucun village prospecté n'a une structure mono-ethnique. De plus, les échanges de semences à l'intérieur de réseaux familiaux parfois géographiquement éloignés, ou entre paysans impliqués dans des programmes de vulgarisation transrégionaux ne sont pas rares. Ce résultat montre qu'avec les modifications climatiques, marquées au Burkina Faso par un raccourcissement de la durée de la saison des

pluies, et une réduction de la pluviométrie, des variétés initialement cultivées dans des zones moins pluvieuses présenteraient une adaptabilité dans d'autres zones relativement mieux arrosées. La faible différenciation génétique entre variétés anciennes et introduites (0,01), paraît souligner l'appartenance des deux types de matériel au même fond génétique. Les variétés introduites ne seraient l'objet que d'un turn-over de variétés locales entre villages, et de brassages assurés par l'allogamie naturelle des sorghos *Guinea* dont les taux peuvent s'établir à plus de 20 % (Chantereau et Kondombo, 1994).

Finalement, c'est le facteur couleur de grain qui apparaît comme le principal facteur de différenciation génétique avec un F_{ST} significatif de 0,08. Les sorghos rouges à bière bien identifiés par un groupe de la classification agro-morphologique (groupe 5) sont généralement plus précoces et cultivés sur de petites superficies. La dérive génétique et l'isolement reproducteur sont sans doute des facteurs qui interviennent dans la différenciation génétique observée avec les autres sorghos. Il est également possible que les hybrides détectables morphologiquement, soient plus facilement contre-sélectionnés par les paysans, renforçant ainsi les barrières d'introgession inter-variétale. Les sorghos à grain rouge contribuent à la corrélation positive et significative entre les diversités agro-morphologique et génétique établies par le test de Mantel. Cette corrélation positive entre marqueurs neutres et caractères agro-morphologiques n'est pas fréquente et n'avait pas été rapportée sur les sorghos du Burkina (Zongo, 1991). Medraoui et *al.*, (2007) ont également observé une corrélation positive entre les deux types de diversité sur les sorghos du Nord-Ouest du Maroc. Comme déjà remarqué, ce résultat est principalement lié aux marqueurs Xtxp145 et gpsb067 à l'origine de la différenciation génétique entre couleurs de grain. Ces deux locus sont respectivement placés sur les chromosomes 6 et 8. Les positions physiques des microsatellites Xtxp145 et gpsb067 sur le point sbi01 du génome entier du sorgho ont été déterminées en utilisant les amorces disponibles sur le site <http://www.orygenesdb.cirad.fr/> (Droc et *al.*, 2006). Le microsatellite Xtxp145 a été identifié dans une région inter génique entre les locus Sb06g019710.1 et Sb06g019720.1. Gpsb067 a été identifié dans le dernier intron du locus Sb08g007610 codant la bêta-glucosidase cyanogénique dhurrinase-2.1 qui joue un rôle de défense contre les bioagresseurs (Cicek et Esen, 1998).

D'une manière générale les valeurs de F_{ST} dans cette étude sont inférieures à celles obtenues avec les systèmes enzymatiques sur le sorgho : Ollitrault (1987), Morden et *al.* (1989) et Zongo (1991) ont rapporté respectivement des valeurs de F_{ST} de 0,82 ; 0,71 et 0,81 ; cependant, elles sont conformes aux résultats rapportés avec les marqueurs microsatellites.

Ainsi, Casa et al. (2005) ont rapporté de faibles valeurs de différenciation génétique entre sorghos cultivés ($F_{ST} = 0,06$), et entre cultivés et sauvages ($F_{ST} = 0,13$). Deu et al. (2008) avec les sorghos du Niger ont montré une faible structuration génétique entre régions ($F_{ST} = 0,07$), entre zones agro-écologiques ($F_{ST} = 0,03$), entre variétés anciennes et d'introduction ($F_{ST} = 0,008$) ; c'est entre races botaniques que la différenciation est la plus importante ($F_{ST} = 0,19$). Les résultats obtenus avec les marqueurs microsatellites concordent avec les résultats de Kremer (1998) pour qui, avec les marqueurs microsatellites il faut s'attendre à une différenciation génétique inférieure à celle observée avec les autres marqueurs, en raison d'un taux de mutation très élevé.

III.3.3 Distribution de la variance génétique

L'Analyse de la Variance Moléculaire confirme une faible part explicative de la variabilité génétique due aux facteurs zone agro-écologique (4,5 %) et village dans une même zone (5,8 %), et attribue l'essentiel de cette variabilité au facteur variété d'un même village (89,7 %). La diversité génétique des variétés à l'intérieur d'une localité semble donc associée à la diversité agro-morphologique observée en relation avec la diversité des usages, des systèmes de culture et de la variabilité pédo-climatique. Ces résultats mettent en évidence la capacité qu'a l'échelle villageoise de représenter une diversité de niveau beaucoup plus large, de nature régionale.

Il apparaît dans cette étude, que le village de Pouni-nord se distingue par un effectif variétal plus important. Les caractéristiques génétiques des variétés sont assez différentes de celles des autres villages, y compris ceux de la même zone agro-écologique, comme le montre leur regroupement dans le groupe 1 de la figure 12. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer leurs particularités :

i) Les stress biotiques liés à la cécidomyie (*Contarinia sorghicola* Coq) et au striga, contraintes majeures du sorgho dans cette localité auraient conduit à de fortes pressions de sélection sur les caractères adaptatifs. La dérive génétique qui accompagne la multiplication des semences avec des effectifs réduits de plantes, pourrait être à l'origine de la divergence génétique entre variétés de Pouni-nord et les autres villages.

ii) L'ethnie Lyélé est très majoritaire dans le village. En dehors des liens matrimoniaux, elle est peu ouverte aux échanges et ne connaît pas d'émigration inter-villages en dehors des grandes agglomérations.

CONCLUSION

Les résultats de l'étude ont été obtenus avec un échantillon variétal représentatif de la diversité des sorghos cultivés dans les trois régions agro-écologiques de culture du sorgho au Burkina Faso. Ils soulignent l'existence d'une importante diversité agro-morphologique, dominée par les variétés de la race *Guinea* qui sont représentées par une forte proportion de variétés introduites (72 %). L'effectif variétal moyen par village (12,4 variétés) est notoire et montre l'importance que les paysans accordent à la diversité variétale. Le matériel végétal rencontré dans les trois zones de culture appartient presque à un même fond génétique ($F_{ST} = 0,06$) traduisant un flux de gènes important, par le biais des échanges variétaux.

Les résultats ont également montré une corrélation positive entre diversité agro-morphologique et diversité génétique. Les sorghos à grain rouge apparaissent comme une entité agro-morphologique et génétique distincte et doivent être préservés, tout comme les *Guinea margaritifera* dont l'effectif est en réduction dans les zones étudiées du Burkina .

Les résultats de la collecte ont montré la rareté des variétés améliorées de type *Caudatum*. Leurs caractéristiques essentielles de productivité s'avèrent insuffisantes pour les systèmes traditionnels de cultures, confrontés à la variabilité inter-annuelle de la pluviométrie et à la diversité des environnements de culture. Les programmes de création variétale devraient tirer parti des enseignements de cette collecte, et orienter leurs travaux de sélection vers l'obtention de variétés intégrant de manière importante le germoplasme local.

Chapitre III

**Variabilité agro-morphologique et structure
génétique intra variétale de dix sorghos
locaux [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] du
Burkina Faso
(P 60-85)**

INTRODUCTION

Après avoir étudié de façon globale la diversité des variétés locales à un niveau régional, ce nouveau chapitre va plus loin dans l'analyse, en mettant l'accent sur la diversité intra-variétale des sorghos locaux, telle qu'elle se présente au niveau des paysans. Contrairement au précédent chapitre à caractère essentiellement descriptif, ce travail va permettre de tester quelques hypothèses liées à la structure génétique des variétés locales et des facteurs qui influent sur celle-ci.

Dans les régions du Burkina Faso où le sorgho est très cultivé, chaque exploitation cultive au minimum deux variétés locales, différenciées par la durée du cycle ou la couleur du grain (Delaunay et *al.*, 2008). Les variétés sont cultivées dans différents types de champs en tenant compte de leur phénologie, des caractéristiques pédologiques et agro-écologiques du milieu de culture. Les noms locaux qui les accompagnent sont descriptifs d'un caractère spécifique de la variété, d'une aire de culture, de la provenance géographique, ou du donateur (vom Broke et Simporé, 2004). La plupart des paysans qui ont fourni leurs semences ne font pas de mélanges poly-variétaux au moment des semis, ni à la conservation. En cas de mauvaises levées nécessitant plusieurs resemis, les paysans font des emprunts et rarement des achats sur le marché local. Une étude de cas au Burkina Faso a montré que près de 70 à 99 % des semences sont produites par l'exploitation, 30 % des échanges de semences se font entre villages sans barrières ethnique ni linguistique, et 91 % des paysans feraient la sélection au champ au moment de la récolte (Delaunay et *al.*, 2008). Les panicules des différentes variétés sont alors mises en gerbes séparément ; cependant les récoltes d'une même variété sont conservées ensemble sans distinction de la localisation spatiale. Enfin, les caractères touchés par le processus de sélection et l'intensité de la sélection humaine peuvent différer de manière importante d'un paysan à l'autre et suivant les conditions pluviométriques de la saison.

Ces pratiques de gestion des variétés dans les exploitations vont jouer un rôle important dans la dynamique et l'évolution de la diversité variétale, favorisant la constitution d'ensembles variétaux génétiquement différenciés (vom Brocke et *al.*, 2002), cela en relation avec le régime de reproduction.

Le sorgho présente des taux d'allogamie variables selon le type de panicule, et suivant la partie de la panicule considérée (Ollitrault, 1987). Doggett (1988), Ollitrault (1987), Chantereau et Kondombo (1994) ont rapporté des taux d'allogamie respectivement de 5 à 7 % sur les *Caudatum et Durra*, 20 % et 29 % sur les *Guinea*. Djé et *al.*, (2004) ont trouvé des taux d'allogamie compris entre 7 et 16 % sur les variétés locales à panicules plus compactes de race *Durra et Durra-Bicolor* du Nord-Ouest du Maroc. Le niveau d'allogamie des sorghos

locaux apparaît donc lié aux caractéristiques de l'inflorescence, tout en pouvant évoluer en fonction des pratiques de gestion paysannes.

Tous ces facteurs agissant de concert influencent le polymorphisme génétique intra variétal. Ainsi, Djé et *al.*, (1999) ont montré que la plus grande part de la diversité des variétés locales de sorgho du Maroc était attribuable à la composante intra champ de culture (85 %), chaque champ pouvant faire l'objet d'une unité valable de conservation de la diversité. Manzelli et *al.*, (2007) ont montré sur des variétés locales de sorgho en Somalie, une faible diversité génétique inter-variétale comparée à la composante intra-variétale. Medraoui et *al.*, (2007), après une nouvelle étude sur les variétés locales de sorgho du Nord-Ouest du Maroc ont confirmé à l'aide de marqueurs SSR et RAPD la forte variabilité génétique intra champ.

L'étude présentée ici a été entreprise pour mieux caractériser la variabilité agro-morphologique et les structures génétiques intra-variétales des sorghos locaux au Burkina Faso. Elle s'appuie sur des données de collectes de matériel végétal, et d'enquêtes concernant les pratiques paysannes dans les systèmes traditionnels de culture du sorgho. Il s'agit notamment, sur la base de la diversité nommée par les paysans (durée de cycle des variétés dans leur condition d'utilisation, aire de culture, fréquence dans la zone, etc.), d'évaluer les facteurs agissant conjointement sur la variabilité des caractères agro-morphologiques et leur diversité génétique. Prenant en compte les taux d'allogamie des variétés locales, l'étude est sous tendue par les hypothèses suivantes :

1) La diversité agro-morphologique et génétique d'une variété locale de sorgho devrait être plus faible au sein des variétés de cycle précoce ou tardif, comparée aux variétés de cycle intermédiaire. Les variétés de cycle précoce ou tardif, respectivement adaptées à des environnements spécifiques de champs de case ou de sols hydromorphes en raison de leurs caractéristiques de cycle, connaissent une forme d'isolement temporel limitant ainsi les échanges de pollen. Par contre, les variétés de cycle intermédiaire présentent une plus large adaptation pédologique et écologique dans la région. Leur caractéristique de cycle les amène dans le temps à s'inter-croiser avec les deux autres types phénologiques.

2) De même, une variété fréquente dans un terroir devrait présenter une plus grande diversité génétique en raison d'une plus grande opportunité d'inter-croisement avec les autres variétés, comparativement à une variété rare territorialement plus isolée.

Une telle étude est importante pour comprendre comment les modes de gestion de la diversité variétale à la ferme peuvent affecter les structures génétiques des variétés locales de sorgho.

Rapport-Gratuit.com

I. MATERIEL ET METHODES

I.1 Caractérisation de la diversité nommée par les paysans

L'analyse de la diversité intra-variétale a été conduite avec dix variétés locales de sorgho à grain blanc. Ces variétés appartiennent à la race *Guinea* (Harlan et de Wet, 1972) et à la sous race *gambicum* (Snowden, 1936). Elles ont été choisies parmi les 124 variétés de l'analyse inter-variétale, sur la base des données de diagnostics participatifs (vom Broke et Simporé, 2004). Ces variétés ont été ré-échantillonnées (Sagnard et *al.*, 2004) en tenant compte de leur différence phénologique et du mode de gestion dans les espaces agraires. Chaque variété a été représentée par 25 panicules récoltées aléatoirement dans un même champ sur différentes plantes.

Afin d'avoir plus de détails sur la gestion de ces variétés et de valider les choix variétaux, une nouvelle enquête a été conduite auprès de chaque exploitant donateur. Elle a consisté en un questionnaire sur l'historique de la variété dans le village et dans l'exploitation, ainsi que sur les pratiques de gestion de la diversité variétale dans l'exploitation : origine de la semence, mode de reconstitution et de conservation de la semence, aire de culture, nombre de variétés cultivées dans l'exploitation et leur occupation spatiale par rapport à la variété caractérisée.

Les paysans enquêtés accordent beaucoup d'importance au caractère de cycle des variétés. Celui-ci est décrit en fonction de la durée de la saison des pluies dans chaque zone de culture. Selon que les variétés bouclent leur cycle avant, au moment ou après la fin de la saison des pluies, les paysans les qualifient respectivement de précoces, bien adaptées, ou tardives. Les variétés précoces mûrissent avant la fin de la saison des pluies, et servent fréquemment pour « la soudure » entre 2 campagnes de production. Les variétés dites bien adaptées ont une grande souplesse dans les dates de semis, en raison d'une meilleure réponse à la photopériode, qui cale leur maturité sur la fin de la saison des pluies. Pour les paysans, les variétés bien adaptées conviennent bien aux différents usages alimentaires et assurent l'essentiel de la production dans l'exploitation. Les variétés tardives, en nombre limité, sont souvent maintenues pour des utilisations particulières, ou pour occuper des espaces tels que les sols hydromorphes, qui sont des propriétés de l'exploitation. Les paysans considèrent aussi qu'une variété est fréquente, lorsqu'elle est cultivée par un grand nombre d'exploitations à l'échelle du terroir, sinon elle est rare. Une variété est dite ancienne lorsqu'elle est cultivée

depuis au moins une génération dans l'exploitation (de l'ordre de 20 ans), autrement elle est dite d'introduction récente. Il y a enfin la typologie spatiale des champs dans le paysage dont l'occupation est fonction de la durée du cycle des variétés et des objectifs de production.

A partir des informations collectées, trois groupes de variétés ont été ainsi reconnus à posteriori :

1) Un groupe de variétés précoces de cycle court, cultivé soit dans le village, soit conjointement dans les champs de case et de brousse que nous avons nommé champs mixtes. Les champs de case sont situés à proximité des habitations, tandis que les champs de village sont situés à l'écart des habitations dans le village et les champs de brousse relativement plus éloignés que les champs de village ;

2) Un groupe de variétés ubiquistes, de cycle intermédiaire bien calé sur la durée de la saison des pluies, et cultivé dans tous les types de champs ;

3) Un groupe de variétés tardives de cycle long, maintenu dans des lopins de terre et cultivé dans des aires agro-écologiques plus favorables (sols hydromorphes autour des bas-fonds). Le tableau XIV récapitule les informations relatives à chaque variété : origine (région agricole, isohyète), numéro de collecte, nom local donné par les paysans, durée du cycle déterminé sur le site expérimental, fréquence dans le terroir, ancienneté et aire de culture dans le village d'origine.

Tableau XIV : origine et typologie des dix variétés caractérisées

Nom du village et index de la région agricole	Isohyètes (en mm de pluies par an)	Numéro de collecte attribué à la variété	Latitude Nord	longitude Ouest	Durée du cycle semis-50 % épiaison (jours), de deux dates de semis	Caractéristique du cycle décrit par les paysans suivant leur zone de culture	Fréquence de la variété dans le village	Typologie de la variété dans l'exploitation du paysan donateur	Type de champ où la variété est cultivée chez le paysan donateur
Kassoum (BM)	500 700	M7-6	13°09'	3°30'	71–78	Précoce	Fréquente	Introduction	Village
Dablo (C-n)	500-700	S7-6	13°36'	1°08'	65–72		Fréquente	Ancienne	Mixte (cultivée en case et brousse)
Sidogo (C-n)	500-700	S10-10	13°19'	1°07'	71–74		Fréquente	Introduction	Mixte (cultivée en case et brousse)
Biba (BM)	700-900	M9-8	12°79'	2°96'	71–75		Fréquente	Ancienne	Mixte (cultivée en case et brousse)
Vélia (C-o)	700-900	B5-4	12°03'	2°20'	76–82	Intermédiaire	Fréquente	Introduction	Mixte (cultivée en case et brousse)
Pouni-nord (C-o)	700-900	B10-25	12°57'	2°62'	80–84		Fréquente	Ancienne	Mixte (cultivée en case et brousse)
Guinsa (C-n)	500-700	S8-15	13°06'	1°15'	82–87	Tardif	Rare	Introduction	Brousse (bas-fonds)
Biba (BM)	700-900	M9-6	12°66'	2°84'	85–96		Rare	Ancienne	Brousse (bas-fonds)
Lon (C-o)	900-1100	B2-4	11°45'	2°13'	89–101		Rare	Ancienne	Brousse
Sybi (BM)	900-1100	M2-2	11°85'	2°97'	95–104		Rare	Ancienne	Brousse

C-n = Région agricole du Centre-nord ; C-o = Région agricole du Centre-ouest ; BM = Région agricole de la Boucle du Mouhoun.

Sigles de collectes : S, M, B, correspondent respectivement Sanmatenga, Mouhoun, Bulkiemdé.

I.2 Collecte des données et analyses statistiques de la diversité agro-morphologique

La caractérisation agro-morphologique a été conduite en condition expérimentale à la station de recherche de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Saria (figure 1). Chacune des 25 panicules par variété a été semée sur une ligne individuelle au champ, au cours de l'hivernage 2005 sur une parcelle élémentaire de 6 m sans répétition. Sur chaque ligne, trois plantes aléatoirement choisies ont été autofécondées et une seule descendance S1 a été aléatoirement retenue après la récolte, pour l'estimation des variances intra-variétales.

Au cours de l'hivernage 2006, les 250 descendances S1 ont été semées le 6 Juillet dans un dispositif « Alpha Design » (Patterson et Williams, 1976) à deux répétitions, comportant chacune 25 blocs de 10 S1 (figure 8). La parcelle expérimentale par entrée a été de 2 lignes de 3 m de long, semées aux écartements de 80 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets sur la ligne, soit au total 32 poquets par parcelle. Le démariage a été réalisé pour sélectionner une plante par poquet une dizaine de jours après la levée.

Neuf caractères quantitatifs ont servi à décrire le matériel végétal : la hauteur de plante, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur de la troisième feuille sous paniculaire, la longueur de panicule ont été mesurés sur cinq tiges principales aléatoirement choisies par parcelle ; la durée du cycle semis-50 % épiaison et les paramètres du rendement (poids de panicule, poids de grain dans la parcelle, et poids de 1000 grains) ont été observés ou mesurés sur l'ensemble de la parcelle élémentaire. Les paramètres du rendement ont été évalués en excluant de chaque parcelle le poquet de début et fin de ligne. Deux caractères mendéliens ont été observés en raison de leur facilité d'interprétation au niveau allélique (Doggett, 1988 ; Chantreau, 1993) : il s'agit de la couleur de glume et de la couleur du grain.

Après vérification de la normalité des variables quantitatives, le logiciel SAS, version 9.1.3 (2002-2003) a été utilisée pour estimer les variances entre les descendances S1 de chaque variété, selon le modèle mixte et hiérarchisé suivant, incluant les facteurs répétition, bloc, variété et S1 :

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_{ij} + \gamma_k + \delta_{kl} + \varepsilon_{ijkl}$$

(i indiquant les variétés, j les S1, k les répétitions et l les blocs)
 μ est la moyenne générale de l'essai ; α_i est l'effet de la variété i ; β_{ij} est l'effet S1j par variété i pour estimer la variance des S1 dans les variétés (l'hypothèse étant que les variances variétales des S1 sont égales) ; γ_k l'effet répétition ; δ_{kl} l'effet bloc dans la répétition ; ε_{ijkl} est l'erreur résiduelle du modèle.

Une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été réalisée avec le logiciel XL-STAT-PRO version 7.5 1995-2000 (Fahmy, 1999) afin de dégager la structuration de la diversité, et d'identifier les variables les plus discriminantes.

I.3 Génotypage et analyses statistiques des données moléculaires

La caractérisation génétique a été réalisée avec les semences des 250 panicules collectées *in-situ*. Douze marqueurs microsatellites choisis parmi les 29 marqueurs de l'analyse inter-variétale ont servi au génotypage, dans le laboratoire de l'UMR Développement et Adaptation des Plantes du CIRAD à Montpellier, (France). Le génotypage a été réalisé dans les mêmes conditions que l'analyse inter-variétale ; toutefois les dépôts ont été réalisés en simplex. Le tableau XV présente les informations sur les marqueurs utilisés.

Tableau XV : marqueurs microsatellites utilisés pour le génotypage des dix variétés locales

Locus	Nombre de paire de bases	Localisation des SSRs sur le génome du sorgho	Auteurs	Taille des allèles dans la présente étude (en paire de bases)
gpsb089	(TG) ₉	1	NP	165-169
gpsb148	(TC) ₃ + (CA) ₅	7	Agropolis-Cirad-Genoplante	133-143
gpsb151	(CT) ₁₂	4		104-110
sb4-72	(AG) ₁₆	6		Brown et al., 1996
xcup02	(GCA) ₆	9	Schloss et al., 2002	192-198
xcup07	(CAA) ₈	10		257-275
Xcup63	(GGATGC) ₄	2		139-145
Xtxp57	(GT) ₂₁	6	Kong et al., 2000	223-257
Xtxp65	(ACC) ₄ (CCA) ₃ CG(CT) ₈	5		130-136
Xtxp278	(TTG) ₁₂	7		246-255
Xtxp295	(TC) ₁₉	7		157-199
Xtxp320	(AAG) ₂₀	1	Bhatramakki et al., 2000	269-287

I.3.1 Paramètres descriptifs de la diversité génétique

Les indices de diversité suivants ont été calculés : le taux de polymorphisme (P) au seuil de 95 %, la diversité allélique (A), la richesse allélique (R_s), le taux d'hétérozygotie observé (H_o) et attendu (H_e) sous les hypothèses de Hardy-Weinberg.

a) Ecart à la panmixie

La structure génotypique d'une population peut être influencée par certaines formes de sélection et par le système de reproduction. Dans une population panmictique, le taux d'hétérozygotie réellement observé (H_o) est égal au taux d'hétérozygotie attendu (H_e) sous les hypothèses de Hardy-Weinberg. Il peut arriver que les croisements ne soient pas aléatoires du fait du régime de reproduction (auto-pollinisation ou homogamie), engendrant des écarts entre hétérozygoties théorique et observée. Cet écart est mesuré à l'intérieur d'une sous-population par l'indice de fixation F_{IS} de Wright (1965).

$$F_{IS} = 1 - \frac{H_o}{H_e} \text{ où,}$$

H_o est la proportion d'individus hétérozygotes observés en moyenne dans une sous-population,

H_e est l'hétérozygotie théorique attendue dans une population en panmixie.

Le F_{IS} est compris entre -1 et $+1$. Les valeurs négatives correspondent à un excès en hétérozygotes, pouvant résulter d'un flux migratoire important provoquant un effet d'hétérogamie. Les valeurs positives traduisent un déficit plus ou moins important en hétérozygotes (donc un niveau d'hétérozygotie bas chez les individus). La variance du F_{IS} est nulle si les sous-populations partagent les mêmes fréquences alléliques (population idéale).

Tout comme le F_{IS} , la différenciation génétique (F_{ST}) a été calculée (Weir et Cockerham, 1984). Les intervalles de confiances du F_{IS} et du F_{ST} ont été obtenus par ré-échantillonnage (1000 bootstraps) sur les locus.

b) Taux d'allogénéité

Le régime de reproduction des espèces monoïques partiellement autogames peut être décrit sous forme d'un modèle subdivisant le pollen reçu par la plante en une fraction s issue de la plante elle-même (autofécondation) et une fraction t issue d'allogénéité. Le taux d'allogénéité rend compte de la proportion d'individus issus de la rencontre de gamètes d'origine génétique différente.

A l'équilibre le F_{IS} peut être relié au taux d'autofécondation s , par la relation suivante (Brown et Allard, 1970):

$$F_{IS} = \frac{s}{2-s} \Rightarrow s = \frac{2F_{IS}}{1+F_{IS}}$$

$$t = 1 - s$$

Le taux d'allogénéité varie théoriquement de 0 (autofécondation complète) à 1 (allogénéité totale).

c) Effectif efficace

Dans une population naturelle, tous les individus ne participent pas nécessairement au processus de reproduction, si bien que la taille de la population qui détermine le rythme de la dérive génétique est différente de la taille réelle (N) de la population. L'effectif efficace (N_e) est le nombre d'individus d'une population idéale (Wright, 1931), qui transmet ses gènes à la génération suivante, et pour laquelle on aurait un degré de dérive génétique correspondant à celui de la population réelle. L'effectif efficace d'une population partiellement autogame est donné par la relation :

$$N_e = \frac{N}{1+F_{IS}}$$

La réduction de la taille sera relativement minime dans les populations à faible consanguinité ; par contre elle sera plus importante dans les populations fortement autogames, augmentant l'effet de la dérive génétique (Hartl, 1994).

Les paramètres de diversité ont été calculés avec le logiciel FSTAT version 2.9.3 (Goudet, 2001).

I.3.2 Structuration de la diversité génétique

La structuration de la diversité génétique a été décrite par une Analyse Factorielle sur Tableau de Distance (AFTD) avec le logiciel DARwin, version 5.0. (Perrier et Jacquemoud-Collet, 2006) en utilisant l'indice « simple matching » (Sokal et Michener, 1958).

Enfin, un test de corrélation de Mantel (1967) a été réalisé sur les matrices de dissimilarités agro-morphologique et génétique, afin de voir la nature de la corrélation entre les deux diversités.

II. RESULTATS

II.1 Analyse de la diversité agro-morphologique

II.1.1 Analyse des caractères qualitatifs

Les caractères qualitatifs de couleur de grain et de glume montrent que chaque variété présente de la variabilité au sein des descendance S1. Deux types de couleur de grain ont été observés : le grain blanc (ivoire et mat) et le grain orangé clair. Pour les couleurs de glume, le noir et le marron sont les plus fréquentes : le marron prédomine dans les variétés précoces et le noir dans les variétés tardives (tableau XVI).

NB compléter par l'interprétation génétique

II.1.2 Analyse des variances

L'analyse de la variance des neuf caractères quantitatifs (durée de cycle semis-50 % épiaison, hauteur de plante, nombre de feuilles, longueur et largeur de la troisième feuille sous paniculaire, longueur de panicule, poids de panicule, poids de grain dans la parcelle et poids de 1000 grains) conclut à un effet toujours significatif du facteur variétal (tableau XVII). Les facteurs répétition et bloc sont aussi significatifs pour plusieurs caractères, excepté les caractères de longueur et largeur de feuilles ainsi que de longueur de panicule, montrant que le dispositif a permis de contrôler les hétérogénéités liées à la parcelle expérimentale. Les valeurs des coefficients de variation (CV) sont en général faibles pour la plupart des caractères, sauf pour les poids de panicule et de grain, sensibles aux hétérogénéités du milieu et aux aléas de culture. Les estimations des variances intra-variétales montrent des différences de valeurs parfois importantes pour la plupart des caractères (tableau XVII). Les valeurs élevées de variance des S1 sont souvent associées aux variétés tardives, comme avec la variété S8-15 de Guinsa (plus forte valeur pour quatre des neuf caractères étudiés : longueur et largeur de feuille, poids de panicule, poids de 1000 grains), ou la variété M9-6 de Biba (plus forte valeur pour la hauteur de plante) et la variété M2-2 de Sybi (plus forte valeur pour le poids de grain). Il reste que des valeurs élevées sont aussi notées dans les variétés précoces comme S7-6 de Dablo (plus fortes valeurs pour le cycle semis-épiaison et la longueur de panicule), et S10-10 de Sidogo (plus forte valeur pour le nombre de feuilles). D'autres variétés se signalent par leurs faibles valeurs de variance de S1 comme la variété précoce M7-6 de Kassoum, et M9-8 de Biba tout comme les deux variétés de cycle intermédiaire B5-4 de Vélia et B10-25 de Pouni-nord. Ces résultats soulignent l'existence d'une variabilité génétique intra-variétale, dont le niveau diffère quelquefois de façon notable entre les variétés pour un même caractère.

Tableau XVI : pourcentages observés pour les types de couleurs de grain et de glume par variété

Villages de la prospection	N° de collecte	Fréquence observée pour la couleur du grain dans les 25 descendance S1 par variété							Fréquence observée pour la couleur de glume dans les 25 descendance S1 par variété			
		Blanc ivoire	Blanc mat	Orangé	Blanc ivoire+ blanc mat	Blanc ivoire + orangé	Blanc mat + orangé	Blanc ivoire + blanc mat + orangé	Marron	Noire	Marron+ noire	Rouge
Kassoum	M7-6	84	0	0	16	0	0	0	92	0	8	0
Dablo	S7-6	76	8	0	16	0	0	0	84	8	8	0
Sidogo	S10-10	52	16	0	28	4	0	0	0	92	8	0
Biba	M9-8	84	0	4	4	4	0	4	84	4	12	0
Velia	B5-4	0	92	0	4	0	4	0	0	88	12	0
Pouni-nord	B10-25	0	84	0	16	0	0	0	80	4	12	4
Guinsa	S8-15	72	8	0	16	0	4	0	0	88	12	0
Biba	M9-6	72	0	0	28	0	0	0	0	88	12	0
Sybi	M2-2	8	72	4	4	0	8	4	0	88	8	4
Lon	B2-4	0	92	0	8	0	0	0	0	96	4	0

Tableau XVII : estimation des moyennes (μ) et des variances (σ^2) intra-variétales des S1 pour les caractères agro-morphologiques étudiés

Sources de variation		Cycle semis- 50 % épiaison (jours)	Hauteur de plante (cm)	Nombre de feuilles	Longueur de feuilles (cm)	Largeur de feuilles (cm)	Longueur de panicules (cm)	Poids de panicules (g)	Poids de grains (g)	Poids de 1000 grains (g)									
		CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM									
Variété		577,51 **	19086,10 **	38,14 **	53,84	3,01 **	197,83 **	0,64 **	0,50 **	38,76 **									
Répétition		84,22 **	171372,44 **	88,87 **	0,00	0,39	28,13*	8,96 **	6,42 **	44,67 **									
Bloc		8,59 **	5828,00 **	2,96 **	62,43 **	0,75**	8,03	0,90 **	0,53 **	1,87 **									
Résiduelle		2,65	773,97	0,76	20,47	0,35	5,86	0,17	0,10	0,77									
CV (%)		2,10	8,90	4,10	7,40	9,70	8,30	27,70	28,70	3,90									
Villages	Numéros	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2
Kassoum	M7-6	68,46	0,97	279,38	0,00	20,25	0,30	62,20	0,88	6,42	0,21	24,22	5,79	1520	65,40	1140	28,60	24,25	0,09
Dablo	S7-6	66,22	16,18	282,76	224,35	19,88	0,64	62,92	1,32	6,32	0,26	26,43	8,62	1650	75,60	1230	53,60	23,09	1,78
Sidogo	S10-10	64,45	5,43	288,46	425,88	20,08	6,11	60,73	15,69	5,92	0,13	28,97	6,12	1500	53,40	1130	34,90	23,71	1,62
Biba	M9-8	68,27	3,36	281,13	0,00	20,15	0,00	61,50	5,46	6,42	0,10	24,58	4,30	1530	0,00	1170	0,00	24,56	1,97
Vélia	B5-4	77,47	6,57	312,82	94,29	21,17	0,29	62,44	7,94	5,58	0,06	31,97	3,70	1410	0,00	1050	0,00	21,42	0,55
Pouni-nord	B10-25	77,19	1,14	326,64	124,31	22,12	0,00	61,58	18,84	6,02	0,11	32,93	3,63	1650	0,07	1210	0,02	20,46	0,44
Guinsa	S8-15	76,30	4,97	317,35	108,40	22,40	0,59	61,20	20,82	6,14	0,35	27,40	5,16	1650	123,70	1250	53,10	21,38	2,09
Biba	M9-6	79,68	1,03	343,98	992,74	22,73	1,12	58,96	7,71	6,05	0,32	32,37	8,14	1370	67,50	1010	36,40	23,31	0,95
Sybi	M2-2	84,26	6,95	345,27	344,54	23,34	0,56	62,60	11,13	5,91	0,17	30,43	3,16	1350	57,50	0950	54,10	21,00	1,84
Lon	B2-4	82,60	3,92	330,22	122,46	22,96	3,46	59,50	16,00	5,63	0,01	32,95	2,50	1230	0,00	0880	0,00	20,46	1,42

* effet significatif du facteur ($P < 0,05$) ; ** effet hautement significatif du facteur ($P < 0,01$) ; CM = Carré Moyen.

NB : Les estimations de variance des S1 nulles signifient que le modèle n'a pas pu leur attribuer une composante génétique en plus de l'expression d'une composante liée aux erreurs.

II.1.3 Structuration de la diversité agro-morphologique

L'Analyse Factorielle Discriminante, avec l'ensemble des caractères quantitatifs montre la structuration de la variabilité agro-morphologique (figure 14). Le premier axe représente 78,01 % de la variance totale. Il est établi par les variables de durée de cycle et de poids parcellaire de grain ; il discrimine le groupe des variétés précoces tel que décrit par les paysans d'un groupe de variétés de cycle intermédiaire et tardif (bas-fond et brousse). L'axe 2 représente 11,77 % de la variance totale. Il est établi par les variables de poids de 1000 grains et de longueur de panicule ; il discrimine en partie le groupe des variétés de cycle intermédiaire d'une partie des variétés tardives (bas-fond et brousse). L'inertie portée par ces deux axes représente 89,78 % de la variance totale.

Dans le groupe des variétés précoces, on observe le plus souvent, un regroupement des descendances S1 par variété, notamment S10-10 de Sidogo, M7-6 de Kassoum et M9-8 de Biba ; ces deux dernières variétés seraient très proches agro-morphologiquement. Les descendances S1 de la variété S7-6 de Dablo sont plus dispersées, montrant plus de diversité en leur sein comparativement aux autres variétés du groupe des précoces. Dans le deuxième groupe, on constate une tendance à un regroupement des variétés suivant leur cycle et leur typologie.

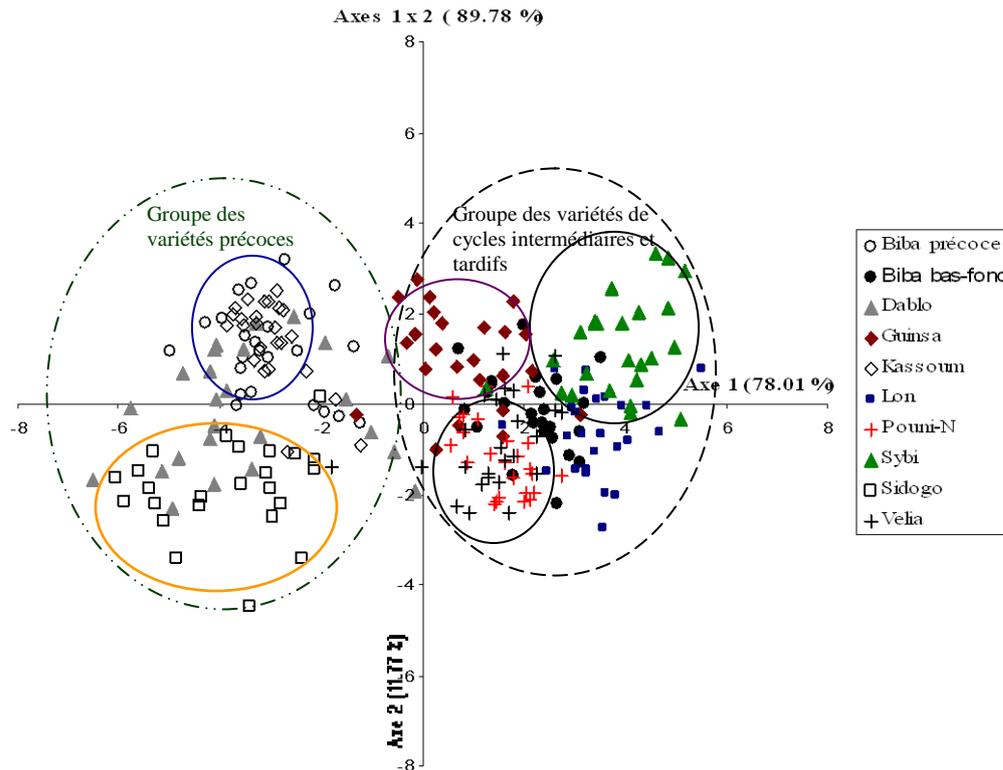


Figure 14 : structuration agro-morphologique des dix variétés, obtenue avec neuf variables quantitatives sur les axes 1 x 2 de l'AFD

II.2. Analyse des données de génotypage

II.2.1 Polymorphisme génétique et diversité allélique

Les paramètres de diversité génétique ont été calculés avec douze marqueurs microsatellites, tous polymorphes au seuil de 95 %. Le niveau de polymorphisme variétal est notable quoique très variable entre les variétés (tableau XVIII). Entre 2 et 19 allèles ont été identifiés aux différents locus, et entre 22 et 41 allèles le sont par variété. La diversité allélique est de 5,7 allèles par locus et une richesse allélique (R_s) de 3,5. Pour l'ensemble de l'échantillon, la diversité génétique est élevée avec une valeur $He = 0,53$. Elle varie entre 0,09 et 0,47 pour les variétés. En moyenne, les variétés précoces apparaissent moins polymorphes comparées aux variétés de cycle intermédiaire et tardif. Ainsi, les variétés M7-6 de Kassoum et M9-8 de Biba dans le groupe des précoces qui ont montré moins de polymorphisme ont présenté également les plus faibles valeurs de diversité génétique, avec respectivement un He de 0,09 et 0,15. Les plus fortes valeurs de diversité sont observées dans les variétés tardives M2-2 de Sybi ($He = 0,42$) et S8-15 de Guinsa ($He = 0,47$).

Cette mise en évidence du polymorphisme intra-variétal à partir de marqueurs neutres peut être rapprochée de l'expression de la variabilité des caractères agro-morphologiques telle qu'elle est quantifiée par les estimations de variance S1. Cela a été établi par le test de corrélation de Mantel entre les diversités agro-morphologique et génétique. La corrélation positive entre les deux types de diversité a une valeur faible mais significative ($r = 0,28$ $P < 0,05$),.

Tableau XVIII : paramètres de diversité génétique pour chacune des dix variétés

Villages	Variétés	<i>P</i>	<i>A</i>	<i>Na</i>	<i>Rs</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	<i>Fis</i>	<i>t</i>	<i>Ne</i>
Kassoum	M7-6	0,42	22	1,8	1,8	0,02	0,09 ± 0,08	0,81	0,11	13,83
Dablo	S7-6	0,83	32	2,7	2,6	0,08	0,32 ± 0,18	0,75	0,14	14,28
Sidogo	S10-10	0,92	36	3,0	2,9	0,12	0,42 ± 0,23	0,71	0,17	14,65
Biba	M9-8	0,58	27	2,3	2,1	0,12	0,15 ± 0,13	0,24	0,62	20,19
Vélia	B5-4	0,83	32	2,7	2,6	0,10	0,37 ± 0,22	0,74	0,15	14,36
Pouni-nord	B10-25	0,67	29	2,4	2,3	0,08	0,22 ± 0,18	0,64	0,22	15,27
Guinsa	S8-15	1,00	41	3,4	3,3	0,24	0,47 ± 0,21	0,50	0,33	16,63
Biba	M9-6	0,75	27	2,3	2,2	0,14	0,37 ± 0,22	0,62	0,23	15,43
Sybi	M2-2	0,83	32	2,7	2,6	0,12	0,42 ± 0,21	0,71	0,17	14,62
Lon	B2-4	0,92	35	2,9	2,8	0,14	0,38 ± 0,17	0,63	0,23	15,34
<i>10 Villages</i>		<i>1,00</i>	<i>68</i>	<i>5,7</i>	<i>3,5</i>	<i>0,12</i>	<i>0,53</i>	<i>0,64</i>	<i>0,22</i>	<i>152,44</i>

P = taux de polymorphisme au seuil de 95 %,

A = nombre total d'allèles,

Na = nombre moyen d'allèles par locus,

Rs = richesse allélique,

Ho = hétérozygotie observée,

He = hétérozygotie attendue,

F_{IS} = écart à la panmixie dans une sous-population,

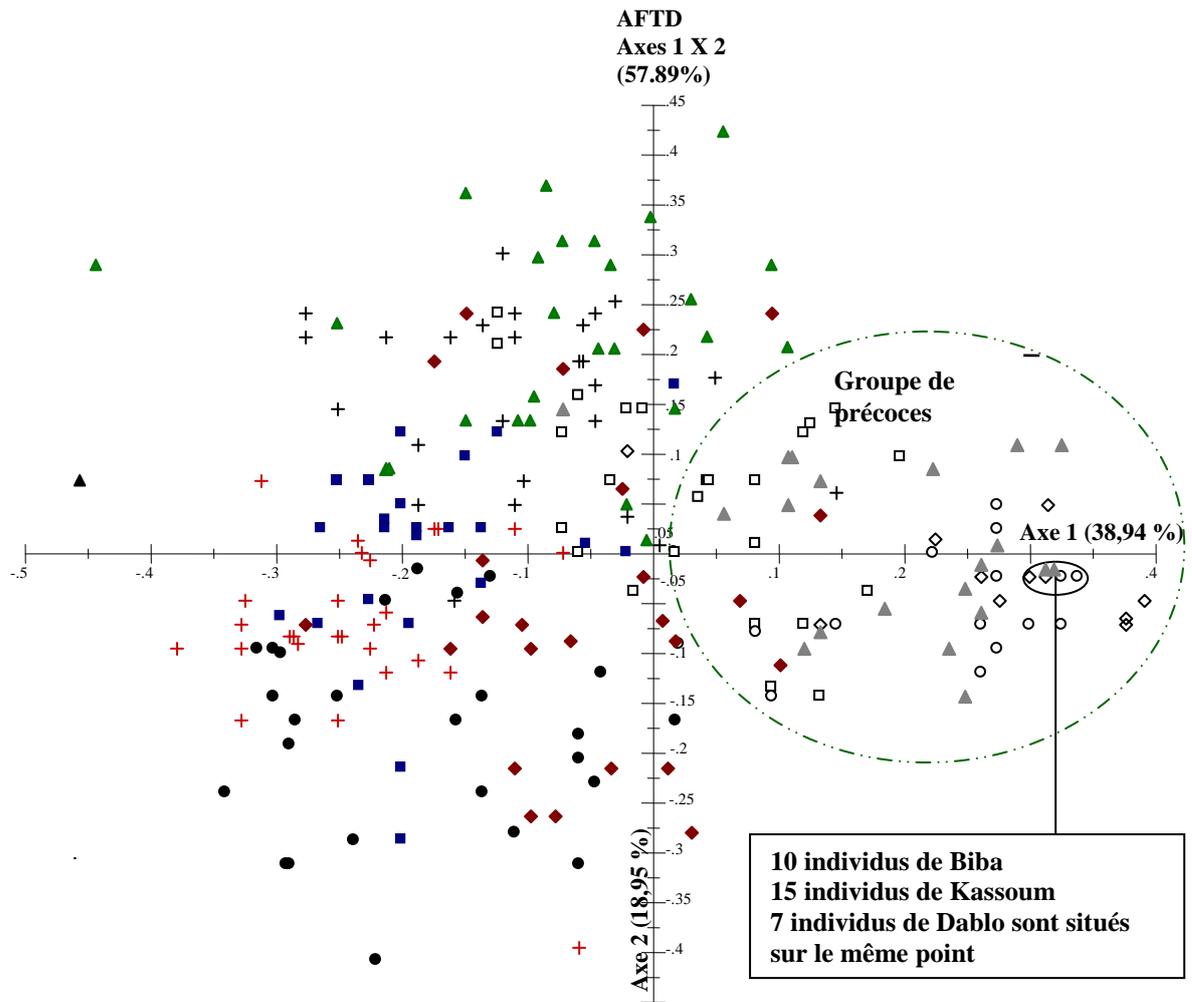
t = taux d'allogamie,

Ne = effectif efficace de la population (pour 25 individus)

II.2.2 Structuration de la diversité génétique

Les deux premiers axes de l'Analyse Factorielle sur Tableau de Distance (figure 15) expliquent 57,89 % de la variance totale. L'inertie portée par ces axes est respectivement 38,94 % et 18,95 %. Deux groupes de variétés semblent se dégager : un groupe qui rassemble les variétés précoces dont certains individus ont leurs points superposés. Dans ce groupe des précoces, les descendances S1 de la variété M9-8 de Biba et M7-6 de Kassoum sont relativement bien regroupées ; par contre, les descendances S1 de la variété S7-6 de Dablo et S10-10 de Sidogo sont dispersées. Le second groupe rassemble essentiellement les variétés de cycles intermédiaire et tardif, avec une certaine tendance des S1 à présenter un regroupement par typologie (variétés tardives de brousse, variétés tardives de bas-fond et variétés de cycle intermédiaire).

La différenciation génétique globale entre les variétés est forte, avec une valeur moyenne de F_{ST} de 0,39 significative ($p < 0,05$) et un intervalle de confiance [0,31–0,45] calculé par ré-échantillonnage sur les locus (1000 bootstraps) (tableau XIXa). A l'exception des variétés précoces M9-8 de Biba et M7-6 de Kassoum qui partagent presque les mêmes fréquences alléliques ($F_{ST} = 0,03$), la différenciation génétique par paire de variétés est partout significative. Elle est aussi forte dans un même groupe phénologique qu'entre groupes phénologiques (tableau XIXa). Les valeurs de F_{ST} observées entre les groupes confirment la structuration obtenue par l'AFTD. Le groupe des variétés précoces est fortement différencié des autres groupes phénologiques ($0,31 \leq F_{ST} \leq 0,35$) et c'est entre le groupe de variétés de cycle intermédiaire et celui des variétés tardives de champ de brousse que la structuration est la plus faible mais tout de même significative ($F_{ST} = 0,06$). Les variétés de bas-fond restent aussi bien différenciées des variétés de champ de brousse (tableau XIXb, XIXc).



Légende : ○ = Biba précoce ; ● = Biba bas-fond ; ▲ = Dablo ; ◆ = Guinsa ; ◇ = Kassoum
■ = Lon ; + = Pouni-nord ; ▲ = Sybi ; □ = Sidogo ; ⊕ = Vélia

Figure 15 : structuration de la diversité génétique des dix variétés

Tableau XIXa : différenciation génétique (F_{ST}) par paire de variétés

Villages	Variétés	Dablo	Sidogo	Biba	Velia	Pouni-nord	Guinsa	Biba	Sybi	Lon
Kassoum	M7-6	0,12*	0,48*	0,03	0,57*	0,72*	0,49*	0,62*	0,55*	0,59*
Dablo	S7-6		0,24*	0,09*	0,35*	0,51*	0,30*	0,44*	0,34*	0,37*
Sidogo	S10-10			0,42*	0,28*	0,38*	0,22*	0,37*	0,24*	0,26*
Biba	M9-8				0,52*	0,65*	0,44*	0,56*	0,49*	0,53*
Velia	B5-4					0,38*	0,26*	0,36*	0,21*	0,18*
Pouni-nord	B10-25						0,34*	0,36*	0,38*	0,12*
Guinsa	S8-15							0,30*	0,26*	0,28*
Biba	M9-6								0,35*	0,31*
Sybi	M2-2									0,24*

Tableau XIXb : différenciation génétique (F_{ST}) entre groupes phénologiques

Groupe phénologique	Variétés de cycle intermédiaire	Variétés tardives de bas-fond	Variétés tardives de brousse
Variétés précoces	0,35*	0,31*	0,31*
Variétés de cycle intermédiaire		0,16*	0,06*
Variétés tardives de bas-fond			0,17*

Tableau XIXc : différenciation génétique (F_{ST}) entre groupes de précocité

Groupe de précocité	Variétés de cycle intermédiaire	Variétés tardives
Variétés précoces	0,35*	0,25*
Variétés de cycle intermédiaire		0,06*

* effet significatif du facteur ($P < 0,05$)

II.2.3 Régime de reproduction

Le F_{IS} moyen observé est de 0,64 avec une $p < 0,05$ et un intervalle de confiance [0,58–0,70] (tableau XVIII). Le F_{IS} varie entre 0,24 et 0,81 selon les variétés. A l'exception de M9-8 de Biba, les variétés précoces ont en général présenté les plus fortes valeurs de F_{IS} , montrant un écart important à la panmixie. Sous l'hypothèse d'équilibre entre forces évolutives (mutation, migration, dérive) et d'un régime de reproduction mixte, le taux d'allogamie t apprécié à partir des valeurs du F_{IS} est estimé à 22 % pour l'ensemble des variétés ; il varie de 11 % à 62 % entre variétés. Le fort taux observé avec la variété M9-8 de Biba ($t = 62\%$) est très supérieur à celui des autres variétés. Une analyse réalisée entre les valeurs de diversité génétique et de taux d'allogamie montre dans cette étude, qu'il n'y a pas de relation directe entre ces deux paramètres (figure 16).

L'effectif efficace (N_e) calculé pour chaque variété indique 55,3 % à 80,8 % d'individus participent réellement à l'effet de reproduction dans les différentes variétés, les pourcentages les plus élevés étant attribués aux variétés de faible consanguinité.

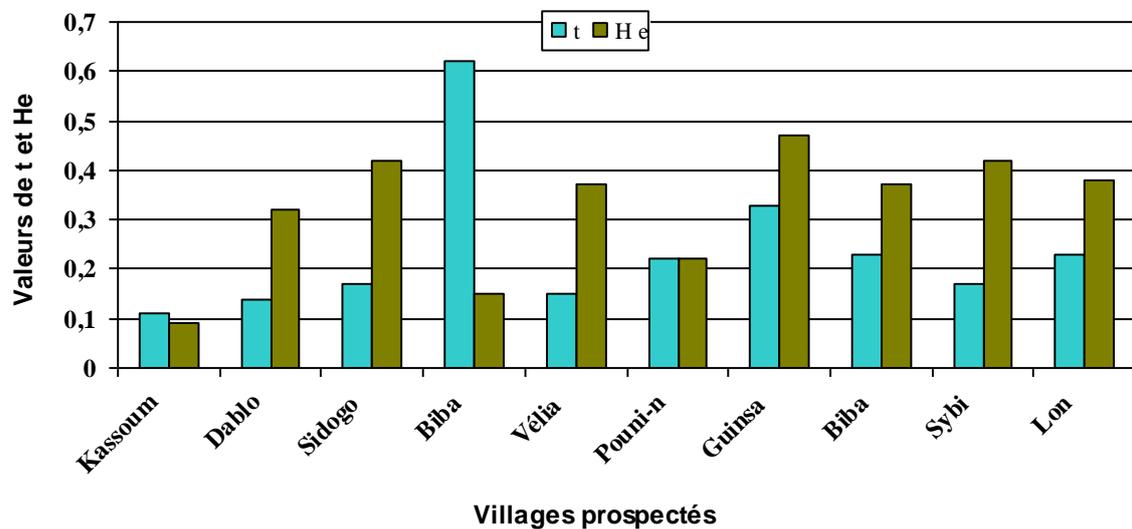


Figure 16 : relation entre diversité génétique et taux d'allogamie

III. DISCUSSION

Quel que soit le type de caractères considérés, la confirmation avec des données quantitatives de la diversité génétique intra-variétale des variétés locales de sorgho au Burkina est un résultat « marquant » dans cette étude.

Il est ainsi bien observé (tableau XVI) que les descendances S1 par variété présentent différentes classes de couleur de grain ou de couleur de glume, déterminées par des différences alléliques à un petit nombre de gènes mendéliens : essentiellement gènes Y et R pour la couleur du grain et gènes P et Q pour la couleur des glumes.

Du point de vue agro-morphologique, les variances des S1 soulignent l'existence de différences génétiques entre plantes autofécondées par variété, et révèlent de ce fait la variabilité intra variétale (tableau XVII). Ces estimations de variances diffèrent de manière plus ou moins importante selon les variétés.

Enfin, l'utilisation des marqueurs SSR rend compte des mêmes résultats avec des taux de polymorphisme ($0,42 \leq P \leq 1$) et de diversité génétique ($0,09 \leq He \leq 0,47$) variables par variété ; ce dernier paramètre souligne là encore, des différences dans l'importance du polymorphisme allélique intra-variétal (tableau XVIII). Ce polymorphisme permet la mise en évidence de flux de gènes et donne lieu à des combinaisons hétérozygotes qui ne sont pas négligeables comme le montre la valeur moyenne variétale d'hétérozygotie observée ($H_o = 0,12$). Ces résultats sont en accord avec ceux déjà établis dans des études de diversité de variétés locales de sorghos Africains. Ils montrent l'importance des diversités intra-variétales qu'elles soient morphologique (Djé et *al.*, 2007) ou génétique (Medraoui et *al.*, 2007, Manzelli et *al.*, 2007). La diversité génétique totale dans cette étude ($He = 0,53$) est assez comparable à celle établie par Casa et *al.*, (2005) sur des génotypes *Guinea* (0,46). Elle est cependant inférieure aux valeurs rapportées par Djé et *al.*, (1999) sur les sorghos du Maroc ($He = 0,84$), et par Upmoor et *al.*, (2003) ($He = 0,60$) sur les sorghos d'Afrique Australe. Dans ces deux derniers cas, les différences paraissent liées aux fonds génétiques des variétés locales, plus diversifiées racialement au Maroc et en Afrique australe par rapport au Burkina, où dominent les sorghos de la race *Guinea* (Barro-Kondombo et *al.*, 2008).

La convergence des résultats entre l'analyse agro-morphologique et génétique est intéressante à approfondir, en comparant les paramètres de différenciation génétique (F_{ST}) et agro-morphologique (Q_{ST}) considérées caractère par caractère (Spitze, 1993). Dans cette étude, elle est établie à un niveau global par le test de corrélation de Mantel ($r = 0,28$, $p <$

0,05). Hamza *et al.*, (2004) à l'aide de 15 marqueurs SSR ont montré avec 26 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) de la Tunisie que la diversité génétique était positivement et significativement corrélée à la diversité agro-morphologique ($r = 0,25$ $P < 10^{-5}$). Un résultat comparable a été observé par Geleta *et al.*, (2006) qui ont caractérisé 45 variétés de sorgho, dont 34 variétés locales provenaient de l'Est de l'Ethiopie, à l'aide de 10 marqueurs SSR. Ces auteurs ont par ailleurs trouvé une corrélation positive et significative entre caractères morphologiques et marqueurs microsatellites ($r = 0,19$ $p < 10^{-3}$).

Les caractéristiques de diversité intra-variétale des sorghos locaux du Burkina sont aussi attribuables à leur taux d'allogamie, qui est de 22 % dans la présente étude et aux pratiques culturales paysannes qui contribuent aux flux de gènes. Ce taux est notable, et conforme à ceux établis dans d'autres études sur des variétés locales africaines de la race *Guinea* à panicule lâche (Ollitrault, 1987 ; Chantereau et Kondombo, 1994). Néanmoins, la variété M9-8 de Biba a montré un taux d'allogamie très élevé de 62 %. Ce taux est comparable à celui observé pour la variété « Za'toota » de race *Durra* du Cameroun (73 %) dans l'étude de Barnaud *et al.*, (2008). En dehors de Pedersen *et al.*, (1998) qui rapportent des taux d'allogamie aussi élevés (100 %) sur le *sudangrass* (*Sorghum bicolor* ssp. *drummondii*), aucune valeur aussi élevée n'avait été notée chez les sorghos cultivés. Ce fort taux d'allogamie pour M9-8 pourrait s'expliquer comme suit: i) soit que cette variété présente une auto incompatibilité partielle ; ii) soit qu'il y a eu des resemis dans le champ ayant favorisé un mélange variétal. Cette deuxième hypothèse serait plus vraisemblable car les conditions pluviométriques souvent défavorables en début de saison peuvent imposer aux paysans un resemis avec d'autres variétés en complément des semences de leurs précédentes récoltes. Barro-Kondombo *et al.*, (2008) ont montré qu'au Burkina, il existe une diversité de variétés locales dans les villages (fréquemment plus de 10), bien distinctes du point de vue agro-morphologique, avec des plages de floraison identiques ou partiellement recouvrantes ; par conséquent les conditions sont réunies pour que les flux de gènes entretiennent le polymorphisme génétique des variétés locales.

D'un point de vue théorique, un système de reproduction autogame entraîne une baisse de la fréquence des hétérozygotes, donc une diminution de la variabilité génétique et par conséquent une augmentation de la différenciation génétique entre populations (Viard *et al.*, 1996). Nos résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre diversité génétique et le taux d'allogamie des variétés ici caractérisées (figure 16). Le même constat avait été déjà fait par Ollitrault (1987) sur des variétés locales de sorgho du Burkina étudiées avec des marqueurs enzymatiques.

III.1 Différenciation et structuration des variétés

La variabilité intra-variétale des sorghos locaux au Burkina même dans un groupe ciblé comme celui des sorghos *Guinea* à grain blanc reste compatible avec le maintien de différences inter-variétales. L'analyse multivariée (AFD) montre une dispersion limitée des descendances S1 par variété, autour de centres de gravité variétaux le plus souvent distincts (figure 14). Il ressort donc que chaque variété présente des caractères agro-morphologiques distinctifs propres que les paysans reconnaissent et prennent en compte lors de la constitution des lots variétaux pour maintenir efficacement les standards variétaux. Cela est en accord avec le fait que les caractères d'adaptabilité (durée de cycle) et de productivité [longueur de panicules, poids de grains de la parcelle (rendement) et poids de 1000 grains] sont des critères importants de la caractérisation variétale paysanne quels que soient le type de champ et l'aire de culture considérée. Déjà, Teshome et *al.*, (1999) avaient montré qu'en Ethiopie la durée de cycle et la productivité étaient des caractères très importants dans la sélection paysanne.

La différenciation entre variétés est confirmée par les marqueurs moléculaires avec des F_{ST} toujours significatifs entre variétés (une seule exception observée entre les deux variétés précoces M7-6 de Kassoum et M9-8 de Biba) (tableau XIXa) et un F_{ST} moyen de 0,39. Cette forte différenciation globale entre variétés est du même niveau que celle trouvée par Barnaud et *al.* (2007) au Cameroun (F_{ST} de 0,36). Les différences de phénologie jouent un rôle explicatif dans cette différenciation comme cela a été vu à Biba, seul village où deux variétés ont été étudiées : l'une précoce et l'autre tardive avec un F_{ST} de 0,56. Il a été aussi noté que des valeurs importantes de F_{ST} pouvaient être établies entre variétés de même groupe de précocité, cela en liaison avec des niveaux d'autogamie suffisants pour contribuer au maintien des différences et aussi, en liaison avec le processus de sélection où les critères sont subjectifs et différents d'un paysan à l'autre.

A un niveau global, les structurations agro-morphologique (AFD, figure 14) et génétique (AFTD, figure 15) montrent clairement une discrimination des variétés en deux groupes : un groupe qui rassemble les variétés précoces et un autre groupe qui rassemble les variétés de cycles intermédiaire et tardif. L'AFD valide mieux que l'AFTD les distinctions faites entre variétés de cycles intermédiaire et tardif, et dans ce dernier groupe, entre variétés de bas fond et variétés de brousse. L'analyse des F_{ST} apporte plus de précision en montrant effectivement : i) un faible niveau de différenciation (mais significatif) entre variétés de

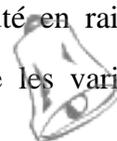
cycles intermédiaire et tardif avec un F_{ST} de 0,06 (tableau XIXc) ; ii) une certaine justification à la distinction entre variétés tardives de bas-fond et variétés tardives de brousse en raison du différentiel de différenciation que ces deux groupes de variétés ont entre eux ($F_{ST} = 0,17$) et avec le groupe des variétés intermédiaires ($0,06 \leq F_{ST} \leq 0,16$) (tableau XIXb).

III.2 Types variétaux et diversité intra-variétale

L'hypothèse portant sur une diversité génétique plus élevée des variétés de cycle intermédiaire, comparativement aux variétés de cycles précoce et tardif n'est pas vraiment vérifié. Les variétés précoces et tardives sont en nombre limité (vom Brocke et Simporé, 2004). Elles sont théoriquement emblavées dans des environnements restreints de champs de case ou de village (variétés précoces), et dans des sols hydromorphes autour des bas-fonds (variétés tardives). Elles arrivent à la floraison avant ou après la majorité des variétés du village. Du fait de cet isolement temporel, les plantes de chaque groupe phénologique devraient se croiser préférentiellement entre elles (autofécondation et homogamie positive), entretenant une diversité génétique intra-variétale limitée.

Dans le groupe des variétés précoces, les résultats montrent deux cas de figure : les variétés M7-6 de Kassoum et M9-8 de Biba ont présenté des diversités génétiques faibles (respectivement $He = 0,09$ et $He = 0,15$) et conformes à ce qui est attendu de variétés précoces isolées phénologiquement (tableau XVIII). En revanche, les valeurs de diversité observées avec les variétés S7-6 de Dablo ($He = 0,32$) et S10-10 de Sidogo ($He = 0,42$) sont relativement élevées. Les données de l'enquête font ressortir que près de la moitié des variétés cultivées dans ces deux villages sont de cycle comparable. Dans ces conditions, l'isolement reproducteur du matériel dans ces deux villages est sans doute moins grand qu'attendu. De plus, la variété S10-10 de Sidogo introduite dans l'exploitation il y a une quinzaine d'années avant la collecte comme variété de champ de case, s'est avérée ubiquiste, avec une grande plasticité dans les dates de semis. Sanou et *al.* (1996) ont montré au Burkina Faso, que les variétés locales de maïs précoce cultivées dans les champs de case ont une diversité génétique plus réduite, ainsi qu'une plus forte homozygotie comparativement aux variétés tardives de champs de brousse, qui assurent la récolte principale.

Dans les variétés de cycle intermédiaire, les niveaux de diversité observés ($0,22 \leq He \leq 0,37$) sont relativement bas. Ce résultat peut être discuté en raison du faible effectif variétal dans ce groupe. Néanmoins, on peut constater que les variétés de cycle



intermédiaire, semées sur de grandes superficies sont soumises à des pressions de sélection plus fortes au moment de la constitution des semences. Les panicules sont en effet généralement sélectionnées au champ et les caractères ciblés dans le processus paraissent limités.

Quand aux variétés tardives de champs de brousse et de bas-fonds, les valeurs de diversité sont élevées ($0,37 \leq He \leq 0,47$) et non conformes à ce qui était attendu. Cela pourrait s'expliquer par un recouvrement partiel des périodes de floraison avec les variétés de cycle intermédiaire, en accord avec la faible différenciation génétique ($F_{ST} = 0,06$). Ce phénomène d'échanges géniques entre variétés de cycles différents n'est pas rare : Sanou et al. (1996) ont montré qu'il y avait des introgressions entre variétés précoces de maïs de champs de case, et variétés tardives de plein champ. Dans cette étude, les variétés tardives sont pour la plupart utilisées pour les rites traditionnels, et font souvent l'objet d'un renouvellement bi ou tri annuel. Les semences sont le plus souvent prélevées dans la récolte globale. En cas de mauvaise production engendrée par un déficit hydrique de fin de saison, les paysans constituent des lots de semences plus importants. Ainsi, les variétés tardives seraient soumises à de plus faibles pressions de sélection avec un faible effet de goulot d'étranglement, comparées aux sorghos de cycles précoce et intermédiaire.

L'hypothèse portant sur une plus grande diversité des variétés fréquentes dans une région, en raison d'une plus grande opportunité spatiale de croisements inter-variétaux n'est pas vérifiée.

Il ressort de cette analyse, une difficulté à caractériser la diversité intra-variétale des sorghos locaux en fonction de leur phénologie, ou de leur fréquence dans la région. La classification des variétés en cycles court, intermédiaire et long est à relativiser, en raison des niveaux de diversité intra-variétale mis en évidence. Les variétés de cycles différents ont des chevauchements de floraison plus ou moins importants. L'isolement reproducteur du matériel précoce ou tardif est vraisemblablement surestimé. Par ailleurs, les pratiques de constitution des lots de semences par les paysans ne sont pas stables. Elles donnent lieu à de plus ou moins fortes pressions de sélection au moment des récoltes, et cela en liaison avec les caractéristiques de la saison de culture, le nombre de caractères ciblés par la sélection. Une grande diversité de situations semble donc se présenter pouvant interférer sur la diversité des variétés locales.

CONCLUSION

Cette étude a montré que les variétés locales de sorgho au Burkina Faso présentent des niveaux variables de diversité agro-morphologique et de polymorphisme génétique intra-variétale, non expliqués de façon directe par les différences de phénologie ou de fréquence de culture. Cette diversité qui s'exprime sous forme d'hétérosis paraît assurer aux variétés locales un potentiel d'adaptation à la variabilité des conditions culturales, et sur le plus long terme, aux changements climatiques. Dans ce contexte, il y a lieu de s'interroger sur la pertinence des variétés-lignées proposées par la recherche qui sont fixées génétiquement, et qui se diffusent difficilement au Burkina Faso, dans les systèmes traditionnels de culture. Leur structure génétique pourrait être repensée pour présenter du polymorphisme génétique tout en étant distinctes phénotypiquement, à l'image de ce que sont les variétés locales. Par ailleurs, de telles variétés établies en fonction des différents pools de la structure génétique des sorghos locaux Burkinabé participeraient de façon efficace à une stratégie de préservation de la diversité existante.

Chapitre IV

Conclusion et perspectives

(P 86-90)

I. CONCLUSION GENERALE

I.1 Diversité des variétés locales de sorgho au Burkina Faso

Cette étude qui visait à caractériser agro-morphologiquement et génétiquement des variétés locales de sorgho de trois régions agricoles a permis d'apporter des informations sur la diversité des variétés locales *in situ* de sorgho au Burkina Faso. Elle a montré aussi l'importance des pratiques paysannes dans la gestion de la diversité.

La diversité des sorghos au Burkina Faso est sous l'influence de forces évolutives qui sont de plusieurs ordres (en partie dictée par les conditions agro-climatiques) : la biologie de la reproduction, la migration [avec un système semencier fluide, permettant les échanges variétaux (analyse inter-variétale), une capacité de dispersion du pollen non négligeable (taux d'allogamie de 22 %)] et la sélection humaine à l'origine d'une importante dérive génétique. Les caractéristiques phénologiques qui sont un facteur de différenciation restent insuffisantes pour expliquer le polymorphisme notoire des variétés locales.

Les résultats des analyses de diversité inter-variétale montrent que les paysans gèrent une diversité variétale importante dominée par la race botanique *Guinea*. Ils montrent aussi que les niveaux de diversité agro-morphologique et génétique restent importants en dépit des fortes contraintes climatiques (raccourcissement de la durée de la saison des pluies et diminution des précipitations ; sécheresses cycliques ou excès de précipitation). Cette importante diversité peut s'expliquer par : i) la grande variabilité écologique et pédologique des systèmes de culture toujours extensifs qui limitent pour l'instant les risques d'érosion génétique ; ii) les croyances traditionnelles avec des variétés spécifiques pour les rites ancestraux et la pharmacopée ; iii) la diversification des usages : les variétés à grain blanc servant préférentiellement à la confection des mets courants (tô, autres, etc.), les variétés à grain rouge pour la bière locale. Les structurations des diversités agro-morphologique et génétique inter-variétale présentent des résultats similaires : la diversité est faiblement expliquée par l'échelle zone agro-écologique et l'échelle villageoise, comme cela est bien révélé par les groupes agro-morphologiques de la CHA (annexe 3) et les valeurs des F_{ST} respectives de 0,04 et 0,06 entre zones agro-écologiques et entre villages.

Les résultats de l'analyse intra-variétale font valoir une diversité agro-morphologique importante et un polymorphisme génétique intra-variétal notoire plus marqué au sein des variétés de cycle tardif que dans les variétés de cycle précoce et intermédiaire. Cette diversité

intra-variétale permet aux variétés locales une bonne adaptabilité ; c'est en cela qu'elles sont différentes des variétés du système formel, génétiquement uniformes, sans possibilité d'évolution adaptative propre.

Les deux hypothèses de recherche portant l'une sur les caractéristiques phénologiques, à l'origine d'une forme d'isolement reproducteur chez les variétés précoces et tardives entraînant une baisse de la diversité et, l'autre sur la plus forte diversité génétique des variétés fréquentes ne s'avèrent pas tout à fait vérifiées.

Le résultat observé au sein des variétés précoces est relativement conforme à ce qui était attendu. Si les variétés précoces constituent un groupe agro-morphologique et génétique relativement homogène, la distinction entre variétés de cycles intermédiaire et tardif ne débouche pas sur des cloisonnements stricts en particulier pour l'analyse génétique. Cette distinction est relative en référence aux cycles des autres variétés que connaît le paysan dans son terroir. La variabilité intra-variétale des sorghos locaux amène à des chevauchements partiels de floraison entre variétés de cycles différents. Ces chevauchements de floraison doivent surtout contribuer à élever la diversité des variétés de cycle intermédiaire qui font le pont entre variétés de cycles précoce et tardif. Les résultats de l'étude montrent que les caractéristiques de diversité génétique des variétés de cycle intermédiaire et tardif ne sont pas exclusivement modelées par le régime de reproduction ; elles restent aussi sensibles à l'action des pressions évolutives dont la sélection (avec un effet de dérive génétique plus ou moins important tel que cela s'observe dans les variétés de cycle intermédiaire) et la migration (flux de gènes à l'origine d'une diversité génétique plus importante dans les variétés de cycle tardif).

I.2 Conservation de la diversité

La diversité variétale nommée par les paysans ne paraît pas suffisante pour définir une unité de conservation à l'exemple de Pouni-nord, qui malgré un effectif variétal important (30 variétés) a présenté la plus faible diversité génétique de tous les villages étudiés. D'autres études arrivent aux mêmes conclusions comme c'est le cas au Niger. Les résultats de l'analyse intra-variétale montrent aussi que la territorialisation des variétés est un modèle de gestion rationnelle mais insuffisante pour préserver la diversité génétique en raison des pressions de sélection au sein de certains groupes variétaux.

Les résultats de cette étude ont néanmoins montré la capacité de l'échelle villageoise à représenter une diversité de niveau régional. En conséquence, un réseau d'observatoires

locaux (à partir d'un nombre limité de villages) sélectionnés dans les différentes zones agro-écologiques serait nécessaire pour le suivi de l'évolution de la diversité génétique *in situ* des sorghos au Burkina Faso. Cependant, une attention particulière devra être accordée à la zone sub-Sahélienne qui présente une diversité variétale et génétique plus importante que celles des autres zones et qui est plus exposée aux aléas climatiques.

Si la structuration de la diversité des sorghos ne paraît pas marquée par le facteur géographique, elle fait en revanche valoir la distinction des sorghos à bière (sorghos à grain rouge) par rapport aux autres sorghos, tout comme les sorghos *margaritifera* (sorgho-riz) bien structurés génétiquement. Les *margaritifera* sont en nombre limité dans la région, montrant que les habitudes alimentaires ont évolué. En termes de conservation, les sorghos à bière tout comme les sorghos *margaritifera* sont un bon exemple de relations entre des usages traditionnels, des systèmes de culture et des caractéristiques biologiques spécifiques existant dans plusieurs autres systèmes agricoles traditionnels d'Afrique sub-Saharienne ; ces sorghos devraient être sauvegardés. Les programmes de conservation doivent s'appuyer sur d'autres indicateurs que les seuls caractéristiques de l'environnement abiotique et intégrer des composantes sociales et culturelles (différences des pratiques).

La structuration de la diversité intra-variétale a aussi montré qu'en dehors des pressions de sélection, il y a moins de risques pour les variétés fréquentes de cycle intermédiaire qui échangent énormément avec les variétés de cycle tardif ($F_{ST} = 0,06$). En revanche, une attention particulière devrait être accordée aux variétés précoces. Malgré leur caractéristique phénologique, la biologie de la reproduction leur confère un désavantage (homogamie plus marquée, faible adaptabilité aux modifications des conditions environnementales). Plus d'efforts devraient être consacrés aux variétés tardives, du fait de leurs caractéristiques de cycle et des risques élevés d'abandon de leur culture.

Les résultats montrent que le Burkina Faso est une zone importante de diversité agromorphologique et génétique des sorghos de la race *Guinea*. Ils constituent une base importante pour le travail de conservation et peuvent servir comme référence en termes de caractérisation raciale, agromorphologique et génétique pour un suivi temporel de la diversité.

I.3 Implications pour les programmes d'amélioration du sorgho

Dans cette étude, la quasi-absence de variétés améliorées par la recherche dans les échantillons prospectés montre que les programmes de sélection variétale du sorgho au Burkina Faso devraient consentir encore plus d'efforts dans l'amélioration variétale. Pour cela, la structuration géographique des caractères agro-morphologiques suivant un gradient Nord-Sud et des caractères des composantes du rendement plaident pour une décentralisation des programmes de sélection et une intégration significative du germoplasme local, garantissant l'adaptation du matériel sélectionné au milieu paysan. Ceci pourrait consister à développer différentes populations à base génétique élargie afin de valoriser et de conserver la diversité, mais aussi pour créer de nouvelles combinaisons génétiques originales répondant à une diversité évolutive. Ceci pourrait encore consister à la création de formules variétales originales de sorgho maintenant un certain niveau de polymorphisme génétique (création de formes de variétés populations à partir du brassage naturel d'un nombre limité d'entrées et conduit à l'équilibre). Enfin, les résultats soulignent pour les trois régions, une préférence paysanne pour les variétés à grain blanc, présentant des plantes anthocyanées (98,4 % de l'échantillon caractérisé), avec une bonne vitrosité du grain. Ces préférences sont à prendre en compte dans les programmes d'amélioration variétale, car les seuls caractères de productivité élevée, longtemps privilégiés dans les programmes d'amélioration sont insuffisants pour motiver la diffusion d'une variété au Burkina Faso. Du reste, les résultats montrent aussi qu'il existe au sein des sorghos locaux, des variétés potentiellement productives à exploiter ; celles-ci devraient être prioritairement sélectionnées, tout en corrigeant certains défauts qu'elles pourraient présenter. Les méthodes de création et de sélection variétale participatives qui permettent d'intégrer ces préoccupations sont déjà mises en œuvre depuis quelques années au Burkina Faso.

NB : la sélection doit prendre en considération l'importance de l'adaptation photopériodique des sorghos

II. PERSPECTIVES

Cette caractérisation de la diversité des variétés locales de sorgho au Burkina Faso devrait être complétée. Si dans les trois régions de l'étude les pratiques agricoles et de constitution des lots de semences sont assez similaires, il n'en est pas toujours de même dans

d'autres régions du Burkina Faso où les facteurs environnementaux, les pratiques agricoles et les préférences variétales sont variables. Une diversité de situations existe et pourrait faire évoluer la diversité variétale à l'exemple des sorghos des régions de l'est, du Centre-est et du Sud-ouest :

- Dans la région de l'est (provinces : Tapoa, Kompienga, Gourma, Komondjari, Gnagna), domine la polyculture du sorgho particulièrement dans les exploitations tenues par les Gourmantchés (ethnie majoritaire dans la région). Toutes les variétés d'une même exploitation et de cycle comparable sont cultivées en mélange sans distinction de la couleur de grain. La constitution des semences se fait en gerbe par un prélèvement de l'ensemble des variétés dans le stock de récolte sur l'aire de séchage ;

- Dans la région du Centre-est (provinces : Koulpelogo, Boulgou, Kourittenga), le sorgho rouge est le plus cultivé dans les exploitations. La sélection variétale est quasi inexistante au moment des récoltes. La plupart des paysans prélèvent leurs semences dans le stock de récolte battu.

- Dans la région du sud-est (provinces : Bougouriba, Ioba, Poni, Noumbiel), la diversité variétale est partagée entre le sorgho rouge (en nombre aussi important) et le sorgho blanc. Le mode de constitution des semences est fonction du village. Il est soit sélectionné au moment de la récolte, soit prélevé sans tri dans le stock de récolte.

Du point de vue diversité raciale, les régions de l'est et du Centre-est ont en commun de conduire dans presque toutes les exploitations, des variétés *Caudatum* ou *Durra* dites « ancestrales » et cultivées en mélange avec le mil, pour des raisons de concordance de durée de cycle. Dans ces deux régions subsisteraient plusieurs sous races de *Guinea* (en dehors des *gambicum*, et des *margaritifera* déjà identifiés dans la présente étude) : les *conspicuum* à gros grain (5 à 6 mm), aplati, avec une très forte rotation, présentant des glumes moyennement ouvertes, des épillets sessiles longs et persistants, des panicules lâches, semi-lâches et quelquefois à tendance semi-compacte ; on note aussi la présence de *mellitum*, avec des panicules semi-lâches, présentant des ramifications courtes, des glumes pailles, englobant presque des grains de grosseur comparable aux variétés de la sous race *gambicum*. Par contre au Sud-est semblent dominer les variétés de la sous race *guineense* avec des caractéristiques assez comparables aux *conspicuum*. Dans la région Sud-est, où les sorghos cultivés cohabitent en certains endroits avec les sauvages, des phénomènes d'introgression devraient subsister. Toutes ces données devraient être mieux précisées dans une caractérisation incluant les données de cette étude pour donner une plus large vision de la diversité des sorghos au Burkina Faso.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acheampong E., Murty A. N., Williams J.T., 1984. A world survey of sorghum and millets germplasm. IBPGR, Rome, 41 P.
- Aldrich P.R., Doebley J., Schertz K., Stec A., 1992b. Patterns of allozyme variation in cultivated and wild *Sorghum bicolor*. *Theor. Appl. Genet.*, 85: 451-460.
- Appa Rao S., Prasada R.F., Mengesha M.H., Gopal-Reddy V., 1996. Morphological diversity in sorghum germplasm from India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43: 559-567.
- Ashley M.V., Dow B.D., 1994. The use of microsatellite analysis in population biology: background, methods and potential application. *In: Molecular ecology and evolution*, B. Schierwater, B. Streit, G.P. Wagner, R. De Salle eds., Birkhäuser Verlag, 185-201.
- Barnaud A., Deu M., Garine E., McKey D., Joly H.I. 2007. Local genetic diversity of sorghum in a village in northern Cameroon: structure and dynamics of landraces. *Theor. Appl. Genet.*, 114: 237-248.
- Barnaud A., Trigueros G., McKey D., Joly H.I., 2008. High Outcrossing rates in fields with mixed sorghum landraces: how are landraces maintained? *Heredity* 101: 445-452.
- Barro-Kondombo C., 2004. *Evaluation de la diversité génétique des sorghos des régions agricoles du Centre-Ouest et de la Boucle du Mouhoun*. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, UFR/SVT, 46 p.
- Barro-Kondombo C., vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F., Zongo J.D., 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Nord. *Cahiers Agricultures* 17: 107-113.
- Barry M.B., 2006. Diversité et dynamique des variétés locales de riz (*O. Sativa* et *O. Glamerrima*) en Guinée. Conséquence pour la conservation des ressources génétiques. Thèse de doctorat, ENSA, Rennes, 170 P.
- Bélem C., D'herbes J.M., Beauval V., 2001. Projet préservation de l'agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso. Rapport de faisabilité, 88 p.
- Benzecri J.P., 1984. L'analyse des données, 4rd ed. Dunod, University de Paris VI, 635 p.
- Bhatramakki D., Dong J., Chhabra A.K., Hart G.E., 2000. An integrated SSR and RFLP linkage map of *Sorghum bicolor* (L) Moench. *Genome*, 43: 988-1002.
- Bureau des Ressources Génétiques (BRG), 2008. Des clés pour la gestion des ressources génétiques. *Droit international, conservation, utilisation et échange des ressources génétiques*, ISBN 2-908447-32-0, 38 p.



- Brown A.H.D., Allard R.W., 1970. Estimating the mating system in open pollinated maize populations using isozyme polymorphisms. *Genetics*, 66: 135-145.
- Brown, A.H.D., 1989b. Core collections: a practical approach to genetic resources management. *Genome*, 31: 818-824.
- Brown M.S., Hopkins M.S., Mitchell S.E., Senior M.L., Wang T.Y., Duncan R.R., Gonzalez-Candelas F., Kresovich S., 1996. Multiple methods for the identification of polymorphic simple sequence repeats (SSRs) in sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench). *Theor. Appl. Genet.*, 93: 190-198.
- Brush S.B., 2000. The issue of in situ conservation of crop genetic resources. *In*: Brush SB (ed) Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity. IDRC/IPGRI/Lewis Publishers, Boca Raton, USA, 3-26.
- Casa M.A., Mitchell S.E., Hamblin H.T., Sun H., Bowers J.E., Paterson A.H., Aquadro C.F., Kresovich S., 2005. Diversity and selection in sorghum: simultaneous analyses using simple sequence repeats. *Theor. Appl. Genet.*, 111: 23-30.
- Celarier R.P., 1959. Cytotaxonomy of the Andropogoneae. III-Subtribe Sorghaeae genus *Sorghum*. *Cytologia*, 23: 395-418.
- Chanterreau J., Arnaud M., Ollitrault P., Nabayaogo P., Noyer J.L., 1989. Etude de la diversité morphologique et classification des sorghos cultivés. *L'Agronomie tropicale*, 44 (3): 223-232.
- Chanterreau J., Nicou R., 1991. Le sorgho. Paris, Maisonneuve et Larose, Collection le technicien de l'agriculture tropicale, 159 p.
- Chanterreau J., 1993. Etude de l'hétérosis chez le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) par l'exploitation d'écotypes et l'analyse de leurs divergences. Thèse de doctorat en Sciences, Université Paris XI Orsay, 206 p.
- Chanterreau J., Kondombo C., 1994. Estimation du taux d'allogamie chez les sorghos de race Guinée. *In* Progrès in food grain research and production in semi-arid Africa, JM Menyonga et al. Ed, Ouagadougou, Burkina Faso, SAFGRAD, 309-314.
- Charrier A., Jaquot M., Hamon S., et Nicolas D., 1997. L'amélioration des plantes tropicales. CIRAD-ORSTOM. Montpellier, France, 401-427.
- Christinck A., vom Brocke K., Kshirsagar K.G., Weltzien E., Bramel-Cox P.J. 2000. Participatory methods for collecting germplasm: Experiences with farmers in Rajasthan, India. *Genetic Resources and Crop Evolution* 121: 1-9.

- Cicek M., Esen A., 1998. Structure and expression of a dhurrinase (beta -Glucosidase) from Sorghum. *Plant. Physiol.* 116: 1469-1478.
- Clerget B., Rattunde HFW., Dagnoko S., Chanterreau J., 2007. An easy way to assess photoperiod sensitivity in sorghum: Relationships of the vegetative-phase duration and photoperiod sensitivity. *Journal of SAT Agricultural Research* 3 (1). <http://www.icrisat.org/journal/>
- Cui Y.X., Xu G.W., Magill C.W., Schertz K.F., Hart G.E., 1995. RFLP based assay of *Sorghum bicolor* (L) Moench genetic diversity. *Theor. Appl. Genet.*, 90: 787-796.
- Dahlberg J.A., Hash C.T., Kresovich S., Maunder B., Gilbert M., 1996. Sorghum and pearl millet genetic resources utilisation. *In Proceeding, the international conference on genetic improvement of sorghum and pearl millet*, 23-27 sept. Lubbock, Texas, 42-54.
- Delaunay S., Tescar R-P., Oualbego A., vom Brocke K., Lançon J., 2008. La culture du coton ne bouleverse pas les échanges traditionnels de semences de sorgho. *Cahiers d'Agricultures*, 17: 189-194.
- de Oliveira A.C., Richter T., Bennetzen J.L., 1996. Regional and racial specificities in sorghum germplasm assessed with DNA markers. *Genome* 39: 579-587.
- Deu M., Gonzalez De Leon D., Glaszmann J.C., Degremont I., Chanterreau J., Lanaud C., Hamon P., 1994. RFLP diversity in cultivated sorghum in relation to racial differentiation. *Theor. Appl. Genet.*, 88: 838-844.
- Deu M., Rattunde F., Chanterreau J., 2006. A global view of genetic diversity in cultivated sorghum using a core collection. *Genome*, 49 :168-180.
- Deu M., Sagnard F., Chanterreau J., Calatayud C., Hérault D., Mariac C., Pham J.L., Vigouroux Y., Kapran I., Traore P.S., Mamadou A., Gerard B., Ndjeunga J., Bezançon G., 2008. Niger-wide assessment of in situ sorghum genetic diversity with microsatellites markers. *Theor. Appl. Genet.*, 116: 903-913
- De Wet J.M.J. and Huckabay J.P., 1967. The origin of *Sorghum bicolor*. II. Distribution and Domestication. *Evolution*, 21, 4: 787-802.
- De Wet J.M.J. and Harlan, J.R., 1971. The origin and domestication of sorghum. *Economic Botany* 25: 128-135.
- De Wet J.M.J., 1978. Systematics and evolution of *Sorghum* sect. *Sorghum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 65 (4): 477-484.
- Dicko M.H., Gruppen H., Barro C., Traoré A. S., Willem J.H., van Berkel and Voragen A.G.J, 2005. Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties

- for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*, 31 (11): 2671-2688.
- Djé Y., Forciolo D., Ater M., Lefèbvre C., Vekemans X., 1999. Assessing population genetic structure of sorghum landraces from North-Western Morocco using allozyme and microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.*, 99: 157-163.
- Djé Y., Heuertz M., Lefebvre C., Vekemans X. 2000. Assessment of genetic diversity within and among germplasm accessions in cultivated sorghum using microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.*, 100: 918-925.
- Djé Y., Heuertz M., Ater M., Lefèbre C., Vekemans X. 2004. *In situ* estimation of outcrossing rate in sorghum landraces using microsatellite markers. *Euphytica*, 138: 205-212
- Djé Y., Heuertz M., Ater M., Lefebvre C., Vekemans X., 2007. Évaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11 (1): 39-46.
- Doggett H., 1988. Sorghum. London & Harlow (GB), Longman Scientific & Technical, (2^{ème} edition), 512 p.
- Droc G., Ruiz M., Larmande P., Pereira A., Piffanelli P., Morel J.B., Dievart A., Courtois B., Guiderdoni E., Perin C., 2006. OryGenesDB: a database for rice reverse genetics. *Nucl. Acids Res.* 34: D736-D740.
- Eberhart S.A., Bramel-COX, Prasada Rao K.E., 1996. Preserving genetic resources. *In Proceeding*, the international conference on genetic improvement of sorghum and pearl millet, 23-27 Sept. Lubbock, Texas, 25-41.
- El Mousadik A., Petit R.J., 1996. High level of genetic differentiation for allelic richness among populations of the argan tree [*Argania spinosa* (L.) Skeels] endemic to Morocco. *Theor. Appl. Genet.*, 92: 832-839.
- Excoffier L.G.L., Schneider S., 2005. Arlequin ver. 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online* 1: 47-50.
- Fahmy T., 1999. XLSTAT-PRO. Paris, France, 43 p.
- FAO, 1995. Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine, Rome, Italie, FAO, 198 p.
- FAOSTAT, <http://www.faostat.fao.org>.
- Folkertsma R.F., Rattunde H.F.W., Chandra S., Soma Raju G., Hash C.T., 2005. The pattern of genetic diversity of guinea-race *Sorghum bicolor* (L.) Moench landraces as revealed with SSR markers. *Theor. Appl. Genet.*, 111: 399-409.

- Folliard PC, Traoré S, Vaksman M, Kouressy M., 2004. Modeling of sorghum response to photoperiod: a threshold–hyperbolic approach. *Field Crops Research* 89: 59-70.
- Frankel O.H., Brown A.H.D., 1984. Current plant genetic resources: a critical appraisal. *In: Genetics, new frontiers* (volume IV). New Delhi, Inde, Oxford and IBH.
- Frankel O., Brown A.H. D., Burdon J.J., 1995. The conservation of plant biodiversity. *New York, USA: Cambridge University Press*, 299 p.
- Frankham R., Ballou J.D., Briscoe D.A., 2002. *Introduction to Conservation Genetics* Cambridge University Press, 0521630142, 607 p.
- Frankham R., 1996. Relationship of genetic variation to population size in wildlife. *Conservation Biology*, 10: 1500-1508.
- Freeland J.R., 2005. *Molecular Ecology* John Wiley & Sons Chichester. ISBN: 78-0-470-09062-6, 400 p.
- Geleta N., Labuschagne M.T., Viljoen C.D., 2006. Genetic diversity analysis in sorghum germplasm as estimated by AFLP, SSR and morpho-agronomical markers. *Biodiversity and Conservation*, 15: 3251-3265.
- Ghebru B., Schmidt R.J., Bennetzen J.L., 2002. Genetic diversity of Eritrean sorghum landraces assessed with simple sequence repeat (SSR) markers. *Theor. Appl. Genet.*, 105: 229-236.
- Glaszmann J.C., Grivet L., Courtois B., Noyer J.L., Luce C., Jacquot M., Albar L., Ghesquière A., Second G., 1999. Le riz. *In : Diversité génétique des plantes tropicales cultivées*. Ed. Hamon P., Seguin M., Perrier X., Glazmann J.C., Cirad, 327-350.
- Glaszmann J.C., 2005. A framework for genetic diversity analysis in the generation Cp [Abstract]. *In : Abstracts of Plant and Animal Genomes XIIIth Conference*, San Diego, CA (USA), January 15-19, 2005. - [S.l.] : s.n.
- Goudet J., 2001. FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3). <http://www.unil.ch/popgen/software/fstat.htm>.
- Grenier C., Bramel P.J., Dahlberg J.A., EL-Ahmadi A., Mahmoud M., Peterson G.C., Rosenow D.T. and Ejeta G., 2004. Sorghum of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 51: 489-500.
- Grivet L., Noyer JL., 1999. Les méthodes de marquage biochimique et moléculaire. *In : Diversité génétique des plantes tropicales cultivées*. Ed. Hamon P., Seguin M., Perrier X., Glazmann J.C., Cirad, 13-41.

- Guinko S., 1984. Végétation de la Haute-Volta. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III (France) 394 P.
- Hamza S., Ben Hamida W., Rebaï A., Harrabi M., 2004. SSR-based genetic diversity assessment among Tunisian winter barley and relationship with morphological traits. *Euphytica* 135: 107-118.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J., 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20 (4): 509-517.
- Harlan J.R., de Wet J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop. Sci.*, 12: 172-176.
- Harlan J.R., 1975. Les plantes cultivées et l'homme (Crops and man. trad. Franç., 1987). Collection techniques vivantes, PUF, 414 p.
- Hartl D.L., 1994. Génétique des populations. Ed Flammarion, ISBN 2-257-15024-4, 305 p.
- IBPGR/ICRISAT, 1993. Descriptors for sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench]. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India, 38 p.
- Kong L., Dong J., Hart G.E., 2000. Characteristics, linkage-map positions, and allelic differentiation of *Sorghum bicolor* (L) Moench DNA simple-sequence repeats (SSRs). *Theor. Appl. Genet.*, 101: 438-448.
- Kouressy M., Bazile D., Vaksman M., Soumaré M., Doucouré T., Sidibé A., 2003. La dynamique des agroécosystèmes : un facteur explicatif de l'érosion variétale du sorgho. In: Dugué P, Jouve P (eds) Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux. Actes du colloque international, 25-27 février 2003. Montpellier, France, 42-50.
- Kremer A., 1998. Les marqueurs moléculaires en génétiques des populations. In : Les marqueurs moléculaires en génétique et biotechnologies végétales. Ed. De Vienne D., Paris, France, Inra, 119-138.
- Mantel N., 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Res*, 27: 209-220.
- Manzelli M., Pileri L., Lacerenza N., Benedettelli S., Vecchio V., 2007. Genetic diversity assessment in Somali sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) accessions using microsatellite markers. *Biodiversity Conservation*, 16:1715-1730.

- Medraoui L., Ater M., Benhabib O., Msikine D., Filali-Maltouf A., 2007. Evaluation of genetic variability of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in northwestern Morocco by ISSR and RAPD markers. *Comptes Rendus Biologies*, 330: 789-797.
- Menkir A., Goldsbrough P., Ejeta G., 1997. RAPD based assessment of genetic diversity in cultivated races of sorghum. *Crop Sci.*, 37: 564-569.
- Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques/ Direction des Statistiques Agricoles (MAHRH/DGPSA), 2007. Données sur les productions nationales, <http://www.agristat.bf.tripod.com>
- Moench C., 1794. *Methodus plantarum horti botanici et agrici.*, 207 p.
- Morden C.W., Doebley J.F., and Schertz K.F., 1989. Allozyme variation in old world races of sorghum bicolor (poaceae). *American Journal of Botany* 76 (2): 247-255.
- Murty D. S., Tabo. R., Ajayi., 1995. Production et gestion des semences d'hybrides du sorgho. ICRISAT, Inde, 41 : 68 p.
- Nei M., 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89:583-590.
- Ollitrault P., 1987. Evaluation génétique des sorghos cultivés (*Sorghum bicolor* L. Moench) par l'analyse conjointe des diversités enzymatique et morpho-physiologique; relation avec les sorghos sauvages. Thèse de doctorat en science de la vie, université ParisXI, Orsay, 187p.
- Orstom, 1982. Prospection des mils pénicillaires, sorghos et graminées mineures en Afrique de l'Ouest. République de Haute-Volta, campagne 1981. Paris, ORSTOM, sp.
- Patterson H.D., Williams E.R. 1976. A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika*, 63: 83-92.
- Pedersen J.F., Toy J.J., Johnson B., 1998. Natural outcrossing of sorghum and sudangrass in the central Great Plains. *Crop Science*, 38: 937-939.
- Pernes J., 1984. Gestion des ressources génétiques des plantes. ACCT, Paris, Volume II, 346 p.
- Perrier X., et Jacquemoud-Collet J.P., 2006. DARwin software, <http://darwin.cirad.fr/darwin>.
- Prosperi M.J., Delgado Enguita I. et Angevain M., 1989. Prospection du genre *Medicago* en Espagne et au Portugal. *Plant Genetic Ressources*, IBPGR, FAO, 78/78, 27-29.
- Renaud K., 2008. Dynamique de la diversité génétique et effet fondateurs : l'exemple du Mouflon (*Ovis aries*) de kerguelen. Thèse de doctorat, Université du Québec, montréal et Universit Claude Bernard de Lyon, 219 P.

- Sagnard F., vom Brocke K., Barro C., Palé G., Kambou D., 2004. Prospection complémentaire des sorghos cultivés dans les régions Centre-Ouest, Centre-Nord et dans la Boucle du Mouhoun au Burkina Faso. Rapport de collecte, 30 P.
- Saitou N., Nei. M., 1987. The Neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evo.*, 4: 406-425.
- Sanou J., 1996. Analyse de la variabilité génétique des cultivars locaux de maïs de la zone de savane ouest africaine en vue de sa gestion et de son utilisation. Doctorat en sciences agronomiques. Thèse, ENSA. Montpellier, 126 p.
- Sapin P., 1984. Le sorgho et son amélioration. Synthèse Haute Volta 1961-1981, Irat, Montpellier, 86 P.
- SAS Institute Inc., 1997. SAS/STAT Software: Changes and Enhance-ment through Release 6.11. SAS Institute Inc., Cary.
- Schloss S.J., Mitchell S.E., White G.M., Kukatla R., Bowers J.E., Paterson A.H., Kresovich S., 2002. Characterization of RFLP probe sequences for gene discovery and SSR development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Theor. Appl. Genet.*, 105: 912-920.
- Snowden J.D., 1936. The cultivated races of sorghum. London, Adlard, 274 p.
- Sokal R.R., Michener C.D., 1958. A statistical method for evolving systematic relationships. *Univ Kansas Sci Bull* 38: 1409-1438.
- Somé L., 1989. Diagnostic agroclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de Sorgho, Mil, Maïs. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 312 p.
- Spitze K., 1993. Population structure in *Daphnia obtusa*: quantitative genetic and allozymic variation. *Genetics*, 135: 367-374.
- Stachel M., Lelly T., Grausgruber H., Vollmann J., 2000. Application of microsatellites in wheat (*Triticum aestivum* L.) for studying genetic differentiation caused by selection for adaptation and use. *Theor. Appl. Genet.*, 100: 242-248.
- Stoop W. A., Pattanayak, C. M., Matlon, P. J., and Root, W. R., 1981. A strategy to raise the productivity of subsistence farming systems in the west African semi-arid tropics. *in Proceedings, sorghum in the Eighties ICRISAT 2-7 November 1981, Patancheru 502 324, A.P., India. Stratégie Mondiale de la Biodiversité*, 19-26.
- Taramino G., Tarchini R., Ferrario S., Lee M., Pe M.E., 1997. Characterization and mapping of simple sequence repeats (SSRs) in *Sorghum bicolor*. *Theor. Appl. Genet.*, 95: 66-72.

- Teshome A., Baum B.R., Fahrig L., Torrance J.K., Arnason T.J., Lambert J.D., 1997. Sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] landrace variation and classification in north Shewa and South Welo, Ethiopia. *Euphytica*, 97: 255-263.
- Traoré S.B., Reyniers F., Vaksmann M., Kone B., Sidibé A., Yoroté A., Yattara K., Kouressy M., 2000. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse*, 11: 227-37.
- Uptmoor R., Wenzel W., Friedt W., Donaldson G., Ayisi K., Ordon F., 2003. Comparative analysis on the genetic relatedness of *Sorghum bicolor* accessions from Southern Africa by RAPD, AFLPs and SSRs. *Theor. Appl. Genet.*, 106:1316-1325.
- Viard, F., Bremond P., Labbo R., Justy F., Delay B., and Jarne P., 1996. Microsatellites and the genetics of highly selfing populations in the freshwater snail *Bulinus truncatus*. *Genetics*, 142:1237-1247.
- vom Brocke K. Presterl T., Christink A., Weltzien E., Geiger H.H., 2002. Farmers' seed management practices open up new base populations for pearl millet breeding in a semi-arid zone of India. *Plant Breeding*, 121: 36-42.
- vom Brocke K, Simpore A., 2004. Les sorghos du village. Rapport de collecte des variétés locales de sorgho dans 30 villages au Burkina Faso, INERA, 66 p.
- vom Brocke K., Trouche G., Zongo S., Bitie A., Oualbéogo A., Barro-Kondombo C., Weltzien E., Chantereau J., 2008. Création et amélioration in-situ de populations à base génétique large avec les agriculteurs au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 17: 146-153.
- Ward J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.*, 58: 236-244.
- Weir B.S., Cockerham C.C., 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 38: 1358-1370.
- Wendorf F., Close A.E., Schild R., Wasylkova K., Housley R.A., Harlan J.R., Krolik H., 1992. Saharan exploitation of plants 8000 years BP. *Nature*, 359: 721-724.
- Wilcoxon F., 1945. Individual comparison by ranking methods. *Biometrics*, 1: 80-83
- Wright S., 1931. Evolution in Mendelian Populations. *Genetics* 16: 97-159.
- Wright S., 1965. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution*, 19: 395-420.
- Yagoua N. D., 1994. Caractérisation du sorgho pluvial, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), de la zone soudanienne du Tchad. In actes de l'atelier de formation sur les variétés locales de sorgho du 10-14 octobre 1994, Samanko, Mali, 44-59.

- Yapi A.M., Debrah S. K., 1997. Evaluation de l'impact des recherches variétales de sorgho et de mil en Afrique de l'Ouest et du centre. In : Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. CIRAD-ICRISAT, 215-221.
- Zongo J.D., 1991. Ressources génétiques des sorghos (*Sorghum bicolor* L. Moench) du Burkina Faso : Evaluation agro-morphologique et génétique. Thèse de doctorat, Université d'Abidjan, 175 p.
- Zongo J.D., Gouyon P.H., Sarr A., Sandmeier M., 2005. Genetic diversity and phylogenetic relations among Sahelian sorghum accessions. *Genetic Resources and Crop Evoi* 52: 869 – 878.

Annexes

(P 101-113)

Annexe 1 : description botanique des cinq principales races de sorgho (Harlan et De Wet, 1972)

Les *Bicolor* : Ce sont les sorghos aux caractères les plus primitifs. La panicule est lâche avec de petits grains, réguliers, élliptiques, légèrement découverts au sommet ou entièrement enveloppés dans des glumes longues et adhérentes ; les épillets pédicellés sont persistants. C'est une race complexe de provenance hétérogène où l'on trouve en particulier les sorghos à balais et les sorghos fourragers ; ces sorghos sont particulièrement adaptés aux zones humides. Ils sont cultivés à petite échelle dans toute l'Afrique et surtout répandus en Asie.

Les *Guinea* : ils correspondent à la sub série guineensia de la classification de Snowden. Ce sont les sorghos adaptés aux zones tropicales humides. La panicule est lâche à semi-lâche. Elle porte des épillets dont les glumes ballantes sont de longueur supérieure ou presque égale au grain. Le grain est elliptique aplati dorso-ventralement et présente à maturité une rotation de 90° par rapport au plan des glumes. Les sorghos de cette race se caractérisent par leur grande taille et présentent une sensibilité à la photopériode et une grande variabilité morphologique ; on y distingue les types *margaritifera* à petits grains très vitreux, les *gambicum*, les *guineense*, les *conspicuum*, les *mellitum*, les *exsertum* et les *roxburghii*. Les guinea constituent la principale race cultivée en Afrique de l'Ouest. Un second centre de diversification existe en Afrique de l'Est centré sur le Malawi.

Les *Caudatum* : ils sont caractérisés par un grain dissymétrique, inséré dans des glumes courtes. Le grain 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 est très présente en Afrique Centrale, en Afrique de l'Est avec des expansions vers l'Afrique de l'Ouest et du sud.

Les *Durra* : ils Présentent des panicules compactes souvent portées par un pédoncule crossé. Leurs grains sont gros, globuleux et larges insérés dans des glumes courtes marquées par un pli transversal. Ce sont des sorghos rustiques adaptés aux zones sèches et à la culture de décrue. Ils sont répandus en Afrique de l'Est, en zone sèche sahélienne, au Moyen-Orient et en Inde.

Les *Kafir* : Ce sont des sorghos de petite taille avec des panicules relativement compactes de forme cylindrique. Les grains sont réguliers à tendance sphérique. Leurs glumes de taille variable restent généralement inférieures au grain. Ils sont très présents en Afrique du Sud.

Annexe 2 : quelques usages du sorgho au Burkina



Tô (met local)



Bière locale



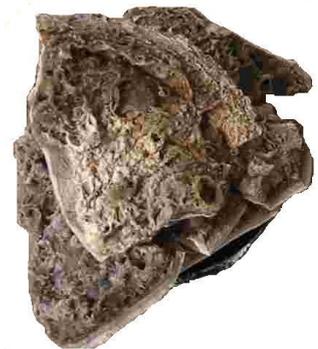
Aliment de bétail



Beignets locaux



Potasse





Stockage pour le combustible



Palissade



**Utilisé dans le
composte**

Annexe 3 : liste du matériel caractérisé

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
1	Pisyopoé fibsabléga	S7-1	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
2	Mankiemna / Wila	S7-2	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
3	Pagrayi	S7-3	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
4	Hamad na fiigdo	S7-4^{ar}	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
5	Beema fiibmiiga	S7-6	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
6	Wang zoanga	S7-7^{ar}	Dablo	Sub-Sahélienne	Durra-bicolor	Blanc	A
7	Namoemson miougou	S7-8^{ar}	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
8	Namoemson sablega	S7-9	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
9	Balinga	S7-10^{ar}	Dablo	Sub-Sahélienne	Non classé	Blanc	A
10	Beema fiibsablega	S7-11	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
11	Soassa	S7-12	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
12	Pisyopoé fiibmiougou	S7-13	Dablo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
13	Rayuudu	S8-1^{ar}	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
14	Pisnu	S8-2	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
15	Pisyopoé	S8-3	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
16	Sirguin	S8-4	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
17	Fiibmiugu	S8-5	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
18	Noognaaba-1	S8-6	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
19	Noognaaba-2	S8-7 ^{ar}	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
20	Baong-ki	S8-8	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
21	Zonobdo	S8-9	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea margaritifera	Blanc	A
22	Beema	S8-10	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
23	Kanbga	S8-11 ^{ar}	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Rouge	D
24	Rog-ne-nini	S8-12 ^{ar}	Guinsa	Sub-Sahélienne	Non classé	Rouge	D
25	Kazin-tuulga	S8-13	Guinsa	Sub-Sahélienne	Non classé	Rouge	D
26	Konkos buuga ou pagrayi	S8-14	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
27	Tempeelga	S8-15	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
28	Versa	S10-1	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
29	Mankiémna	S10-2 ^{ar}	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
30	Beema sablega	S10-3	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
31	Fiibmiugu	S10-4	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
32	Soassa	S10-5	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Gris	B
33	Beema miugu	S10-6	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
34	Soassa lebga	S10-7	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Gris	B
35	Tankienga	S10-8	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
36	Belko	S10-9	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
37	Pisnu	S10-10 ^{ar}	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
38	Pagrayi	S10-11	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
39	Balinga	S10-12 ^{ar}	Sidogo	Sub-Sahélienne	Non classé	Blanc	A
40	Pagrayi lebga	S10-13	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
41	Kazin miiga	S10-14	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Rouge	D
42	Daraman	M2-1	Siby	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
43	Gniodjogo1	M2-2	Siby	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
44	Gnodjogo2	M2-3	Siby	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
45	Bô	M2-4(1)	Siby	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
46	Bô	M2-4(2) ^{ar}	Siby	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
47	Banfora	M2-5	Siby	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
48	Tiekato Blanc	M7-1	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
49	Bla	M7-2	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea margaritifera	Blanc	A
50	Samabolo blanc	M7-3	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
51	Samabolo liégnon	M7-4	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C
52	Tiati (Tiékato)	M7-5(1)	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Orangé	C
53	Tiékato rouge	M7-5(2)	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Orangé	C
54	Gyin fani	M7-6	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
55	Samabolo rouge	M7-7	Kassoum	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Orangé	C
56	Kan-satan (glumes rouges)	M9-1	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
57	Kan-satan	M9-2 ^{ar}	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
58	Tala-wi	M9-3	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	B
59	Sôrôman gouéla	M9-4	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
60	Dowi	M9-6	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
61	Yangasso	M9-7	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
62	Lallé	M9-8	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	B
63	Witien	M9-9 ^{ar}	Biba	Nord Soudanienne	Non classé	Rouge	D
64	Solenzo	M9-10	Biba	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
65	Sio	M10-1	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
66	Douni-weini	M10-2	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	A
67	Pinati-wei-poni	M10-3	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
68	Pina-gnou-wei	M10-4 ^{ar}	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
69	Douni weini(glume noire)	M10-5	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
70	Pinati-wei-mona	M10-6	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
71	Twazini	M10-7	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
72	Ko-bio	M10-9	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
73	Kinbouroudou	M10-10 ^{ar}	Kéra	Sud Soudanienne	Guinea margaritifera	Blanc	A
74	Kègnon	M10-11 ^{ar}	Kéra	Sud Soudanienne	Bicolor	Orangé	A
75	baning-pèlga	B2-1	Lon	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
76	Sorgho rouge ordinaire	B2-2	Lon	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
77	Kioédré	B2-3	Lon	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
78	Silmibaninga	B2-4	Lon	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
79	Fibmiougou	B2-5	Lon	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
80	Kazing-zaalga ou rig-waongo	B2-6	Lon	Sud Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
81	Kazing-Zouwoka	B5-1	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
82	Fibmiga	B5-2	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
83	Rassod m'yakyé	B5-3	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
84	Konkos bouga	B5-4	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
85	Banging toulga	B5-5	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
86	Koalabwongo (en Gourounsi)	B5-6	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
87	Kioédré	B5-7	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
88	Fibmiga	B5-8	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
89	Kazinga	B5-9	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D
90	Baniga	B5-10	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
91	Peelogo	B5-11	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
92	Kdalabwongo	B5-12	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
93	Wenewinha	B5-13 ^{ar}	Velia	Nord Soudanienne	Guinea margaritifera	Rouge	A
94	Sizounro	B5-14 ^{ar}	Velia	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
95	Lyî-yaa	B10-1	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
96	Yaa-shê	B10-2	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
97	Lyî-yaa	B10-3 ^{ar}	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
98	Yaa-lyimi	B10-4	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
99	Yaa-lyimi	B10-5	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
100	Yaa-lyimi (na pouan)	B10-6	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
101	Yalimi	B10-7	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	B
102	Line yââ	B10-8	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
103	Yalimi ye koulé	B10-9	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
104	Pul-chien	B10-10	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
105	Tôlô o'yion	B10-11	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
106	Yaa-lyimi	B10-12	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
107	Yaa-lyimi	B10-13	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
108	Yalimi	B10-14	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
109	Yalimi	B10-15	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
110	Liya	B10-16	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
111	Yalimi	B10-17	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	B
112	Yalimi	B10-18	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
113	Yalimi na pouan	B10-19 ^{ar}	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C

Numéro d'entrée	Nom de la variété	Numéro de collecte	Village d'origine	Zone pluviométrique	Type botanique	Couleur de grain	Groupe de la CHA
114	Yalimi	B10-20	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
115	Liya	B10-21	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	C
116	Yalimi	B10-22	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
117	Ya-pwan	B10-24	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
118	Pul-shèn	B10-25 ^{ar}	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
119	Yaa-nunê (Go-yaa)	B10-26	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
120	Tôlô oyô	B10-27	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
121	Yaa-lymi	B10-28	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
122	Line-yaa	B10-29	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Orangé	B
123	Yaa-lymi	B10-30	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C
124	Bô	B10-31	Pouni-Nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Rouge	D

NB : ar (présence d'allèles rares pour la variété)

Annexe 4 : modalités des variables qualitatives

Variables qualitatives	Modalités	Signification	Effectifs
Compacité panicule	1	Très lâche	1
	2	Lâche	8
	3	Semi-lâche	111
	4	Semi-compacte et compacte	4
Longueur des glumes	1	< au grain	7
	2	≈ au grain	113
	3	> au grain	4
Ouverture de glumes	1	Fermée	1
	2	Demi-fermée	2
	3	Faiblement ouvert	5
	4	Moyennement ouvert	13
	5	Très ouvert	103
Adhérence des glumes	1	Non adhérent	111
	2	Faiblement adhérent	10
	3	Très adhérent	3
Rotation du grain	1	Absence de rotation	1
	2	Faible rotation	14
	3	Rotation moyenne	24
	4	Rotation forte	82
Persistance de l'épillet pédicellé	1	Non persistant	4
	2	Faiblement persistant	33
	3	Persistant à très persistant	87
Longueur de l'épillet pédicellé	1	< au grain	33
	2	≈ au grain	84
	3	> au grain	7
Couche brune du grain	1	Présence de la testa	20
	2	Absence de la testa	104
Couleur des glumes	1	Paille	2
	2	Marron	19
	3	Rouge	5
	4	Noire	98
Couleur des grains	1	Blanc	89
	2	Gris	2
	3	Orange	17
	4	Rouge	16
Vitrosité du grain selon échelle IBPGR (1-5)	1	$1 \leq 3$	103
	2	$3,1 \leq 5$	21
Réponse à la photopériode	1	$0,4 \leq 0,5$ sensibilité modérée	15
	2	$0,6 \leq 0,8$ sensibilité importante	101
	3	$0,9 \leq 1$ sensibilité + importante	8
Type botanique (Non pris en compte dans les analyses multivariées)	1	Bicolor	1
	2	Guinea gambicum	113
	3	Guinea margaritifera	4
	4	Durra	1
	5	Indéterminé	5

Annexe 5 : résultats de quelques auteurs ayant servis aux discussions

Auteurs	Nombre de variétés analysées	Type de marqueurs utilisés	Taux de polymorphisme	Nombre moyen d'allèles par Locus	Taux d'hétérozygotie espéré	Différenciation génétique
Ollitrault (1987)	80 variétés locales de quatre races botaniques (excepté les <i>Kafir</i>) du Burkina Faso	17 allozymes (7 systèmes enzymatiques)	58,8 %	2,3	0,26	0,71
Morden et al., (1989)	83 variétés de toutes les races botaniques de l'Afrique et de l'Inde	15 systèmes enzymatiques	0,02 %	1,81	0,008	0,91
Zongo (1991)	50 variétés locales de 4 races botaniques (excepté les <i>kafir</i>) du Burkina Faso	18 allozymes	27,8 %	1,6	0,02	0,81
Aldrich et al., (1992)	351 cultivars comportant toutes les races botaniques et 78 sauvages d'Afrique, du Moyen orient et d'Asie	30 allozymes	Non rapporté	2,3	0,09	Non rapportée

Auteurs	Nombre de variétés analysées	Type de marqueurs utilisés	Taux de polymorphisme	Nombre moyen d'allèles par Locus	Taux d'hétérozygotie espéré	Différenciation génétique
Ghebru et al., (2002)	60 variétés dont 28 variétés locales de l'Erythrée et 32 variétés issues de la collection mondiale	15 marqueurs microsatellites ou (Simple Sequence Repeat)	Non rapporté	13,9	0,78	0,50 entre sorgho de l'Erythrée et 0,59 pour l'ensemble des 60 variétés
Uptmoor et al., (2003)	23 variétés collectées dans différentes régions d'Afrique du Sud	25 SSR	100 %	6,6	0,60	Non rapporté
Casa et al., (2005)	104 variétés de 5 races (73 cultivés +31sauvages) d'Afrique	76 SSR	Non rapportée	Valeur de R_s - 4,9 pour les cultivés - 6,2 pour les sauvages - 2,8 pour les <i>Guinea</i>	- 0,51 pour toutes les cinq races -0,59 sauvages 0,46 pour les <i>Guinea</i>	0,06 entre cultivés 0,13 entre cultivés et sauvages

Auteurs	Nombre de variétés analysées	Type de marqueurs utilisés	Taux de polymorphisme	Nombre moyen d'allèles par locus	Taux d'hétérozygotie espéré	Différenciation génétique
Folkertsma et al., (2005)	100 guinea de 11 pays dont 10 pays d'Afrique (y compris le Burkina) et 1 d'Asie	21 SSR (11 sont communs à cette étude)	77,5	5,6	- 0,42 au niveau régional, - 0,36 au niveau pays	Non rapportée
Deu et al., (2006)	210 variétés de la core collection comportant toutes les races cultivées	74 RFLP	0,99	- 3,0 pour l'ensemble des cinq races - 2,4 pour les <i>Guinea</i>	- 0,40 pour l'ensemble des cinq races - 0,35 pour les <i>Guinea</i>	0,35
Barnaud et al., (2007)	21 variétés du Cameroun (Duupa) polyculture	14 SSR	100	8,8	0,32	0,36
Deu et al., (2008)	472 variétés de 4 races botaniques (excepté les <i>Kafir</i>) du Niger	28 SSR	Non rapportée	10,43	Totale = 0,61 <i>Guinea</i> = 0,50	- Totale 0,19 - Inter région 0,07 - entre variété d'introduction et ancienne 0,008 - Inter zones 0,03

Publications

Barro-Kondombo C., vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F., Zongo J.D., 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-nord. *Cahiers Agricultures* 17: 107-113.

Barro-Kondombo C., Sagnard F., Chantereau J., Deu M., vom Brocke K., Zongo J.D., 2010. Genetic structure among sorghum landraces as revealed by morphological variation and microsatellite markers in three agroclimatic regions of Burkina Faso. *Theoretical Applied Genetics*. TAG-2008-0570.R3.
