

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU



N° d'ordre.....

UNITE DE FORMATION ET DE  
RECHERCHES DES SCIENCES DE LA VIE  
ET DE LA TERRE (UFR/SVT)

LABORATOIRE DE GENETIQUE ET  
BIOTECHNOLOGIES VEGETALES

## THESE

Présentée par

**BARRO/KONDOMBO Clarisse Pulcherie**

Pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU**

Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées

Option : Génétique et Amélioration des plantes

**Diversités agro-morphologique et génétique de variétés locales de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] du Burkina Faso. Eléments pour la valorisation des ressources génétiques locales**



Soutenue le 25 Mars 2010 devant le jury composé de :

André CHARRIER, Professeur, Montpellier Supagro

Président

Jean Didier ZONGO, Professeur, Université de Ouagadougou, Directeur de thèse

Membre

Jacques CHANTEREAU, Chercheur CIRAD, Montpellier, Co-directeur

Membre

Jacques K. SIMPORE, Maître de Conférences, Université de Ouagadougou

Membre

Jeanne MILLOGO, Maître de Conférences, Université de Ouagadougou

Rapporteur

Jeanne ZOUNDJIHEKPON, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi

Rapporteur



## 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 .....	31
a) Paramètres descriptifs de la diversité génétique .....	31
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 Corrélations entre caractères .....	41
II.2.3 Structuration de la variabilité .....	42
II.3 Analyses moléculaires .....	45
II.3.1 Polymorphisme génétique et diversité allélique.....	45
II.3.2 Hétérozygotie attendue.....	46
II.3.3 Structuration de la diversité génétique .....	49
III. DISCUSSION.....	54
III.1 Diversité variétale nommée par les paysans .....	54
III.2 Diversité agro-morphologique des sorghos .....	54
III.3 Diversité et structuration génétique des sorghos.....	56
III.3.1 Diversité génétique des sorghos .....	56
III.3.2 Structuration génétique des sorghos .....	57
III.3.3 Distribution de la variance génétique .....	59
CONCLUSION.....	60

### Chapitre III

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

INTRODUCTION .....	61
--------------------	----

I. MATERIEL ET METHODES .....	63
I.1 Caractérisation de la diversité nommée par les paysans .....	63
I.2 Collecte des données et analyses statistiques de la diversité agro-morphologique .....	66
I.3 Génotypage et analyses statistiques des données moléculaires.....	67
I.3.1 Paramètres descriptifs de la diversité génétique .....	67
a) Ecart à la panmixie .....	67
b) Taux d'alofécondation.....	68
c) Effectif efficace .....	69
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 .....	81
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 .....	100

## 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 (2005-2006) pour la productivité .....	41
Tableau VIII : matrice des des corrélations entre variables .....	42
Tableau IX : caractéristiques moyennes pour les cinq groupes établis par la CHA .....	44
Tableau X : paramètres génétiques des 124 variétés locales par locus .....	47
Tableau XI : paramètres de diversité génétique et différenciation génétique selon différents facteurs, établis avec l'ensemble des 29 locus .....	48
Tableau XII : différenciation génétique ( $F_{ST}$ ) par paire de villages .....	49
Tableau XIII : différenciation génétique ( $F_{ST}$ ) par paire de zones .....	50
Tableau XIV : résultats de l'analyse de variance moléculaire des 124 variétés locales .....	50
Tableau XV : provenance et typologie des dix variétés caractérisées .....	65
Tableau XVI : pourcentages observés pour les types de couleurs de grain et de glume par variété .....	71
Tableau XVII : estimation des moyennes ( $\mu$ ) et des variances ( $\sigma^2$ ) 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 province des 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 céréalières moyennes au Burkina Faso (1990-2006) .....	17
Figure 7-2 : productions céréalières 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.....	43
Figure 11 : structuration des 124 individus sur les axes 1 x 2 de l'AFTD .....	51
Figure 12 : dendrogramme établi avec 22 locus SSR polymorphes pour 124 variétés locales en utilisant l'indice de dissimilarité génétique « simple matching » .....	52
Figure 13 : dendrogramme établi avec 22 locus SSR polymorphes par la méthode «Neighbour-joining » 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 .....	53
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 : régression linéaire entre diversité génétique et taux d'allogamie.....	79

## Liste des annexes

Annexe 1 : fiche de collecte de variétés locales de sorgho [ <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench] au Burkina Faso (2003-2004) : INERA/CIRAD .....	100
Annexe 2 : description botanique des cinq races principales de sorgho (Harlan et De Wet, 1972).....	102
Annexe 3 : quelques usages du sorgho au Burkina Faso .....	103
Annexe 4 : liste du matériel caractérisé .....	104
Annexe 5 : modalités des variables qualitatives .....	111
Annexe 6 : résultats de quelques auteurs ayant servi aux discussions.....	112

## 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. *Theor Appl Genet*, 120:1511-1523

## 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 André Charrier de Montpellier Supagro pour s'être intéressé au sujet de thèse et pour les orientations importantes apportées dans cette étude ;

Au Professeur Jeanne Zoundjihékpon 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 fructueux 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, 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 remercie les nombreuses personnes qui m'ont apporté leur soutien multiforme : Dr Claude Luce pour sa sympathie et l'appui considérable dans le génotypage. Dr Jean Louis Noyer et Dr Jean François Rami chercheurs de l'UMR/DAP, que j'ai dérangés par moment pour des questions de compréhension ; 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 pour l'appui dans les analyses statistiques.

De personnes extérieures m'ont également apporté leur appui. Mes sincères remerciements au Dr Patrick Durant de l'IRD Montpellier, pour les échanges fructueux au cours de ce travail, et au Dr Tom HASH de l'ICRISAT Inde, pour les données d'informations sur l'ensemble des marqueurs utilisés.

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

Je tiens 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 sur la gestion de la diversité du sorgho.

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 absences, 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 des conditions agro-pédologiques et écologiques différentes suivant leur biologie florale. 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 au niveau 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 de 29 marqueurs microsatellites. 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 %. 4 % des variétés n'ont pu être rattachés à un groupe botanique ; ceux-ci seraient des hybrides de *Guinea*. Les variétés à grain blanc représentent 74,2 %, celles à grain orangé 13,7 %, et celles à grain rouge 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 variabilité agro-morphologique intra-variétale diffèrent de manière plus ou moins importante entre les variétés. Les plus faibles variances 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, une diversité génétique de 0,53 et un taux d'allogamie de 22 %. 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 ( $F_{ST} = 0,06$ ).

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 in 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 the level of 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. En Egypte, au cours de la 18<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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 Simpo, 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 influent sur 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 de sorgho, *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 Simpore, 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 céréalières 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 germplasm ont été organisées en 2003 et 2004 dans les trois régions agricoles concernées.

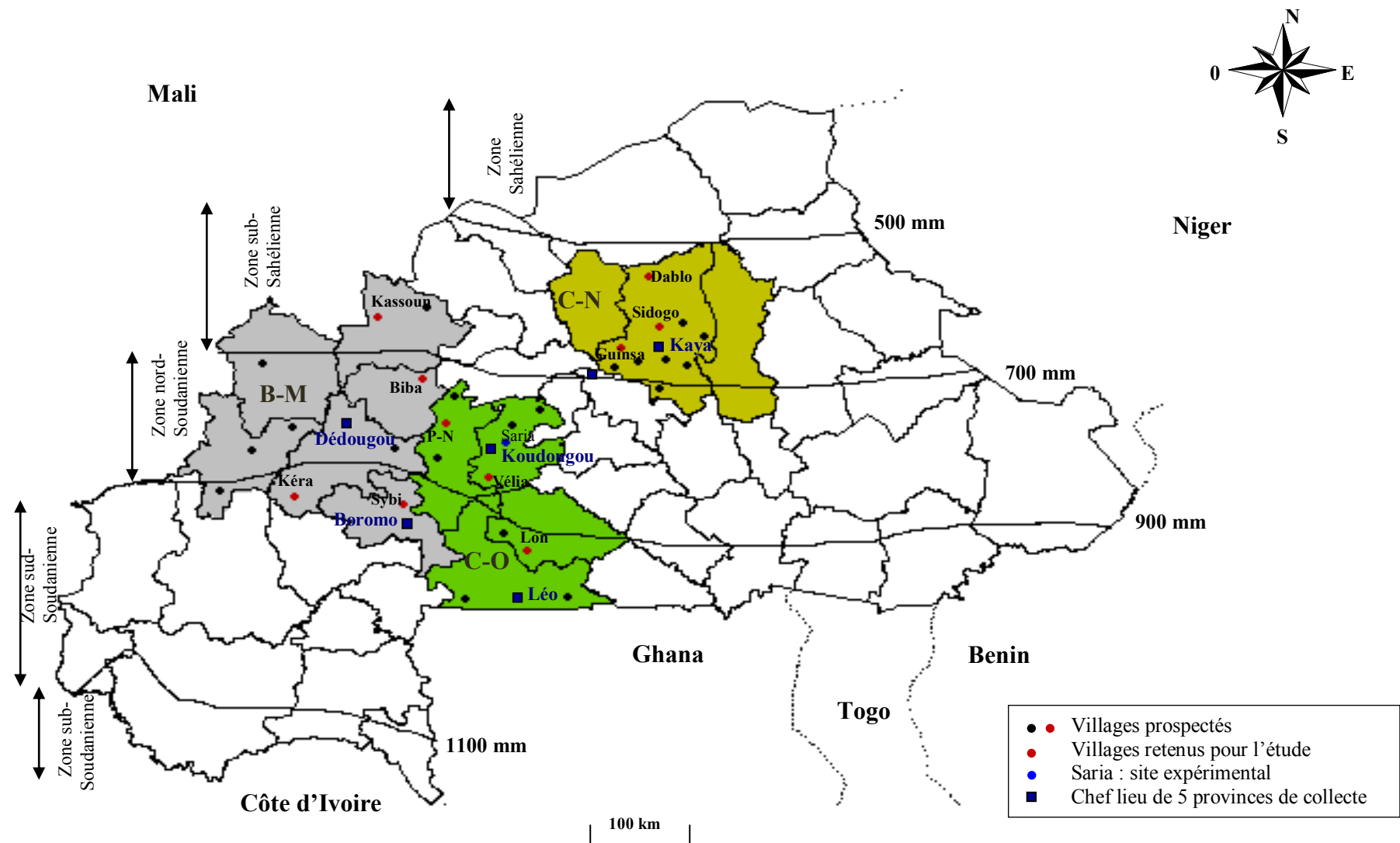
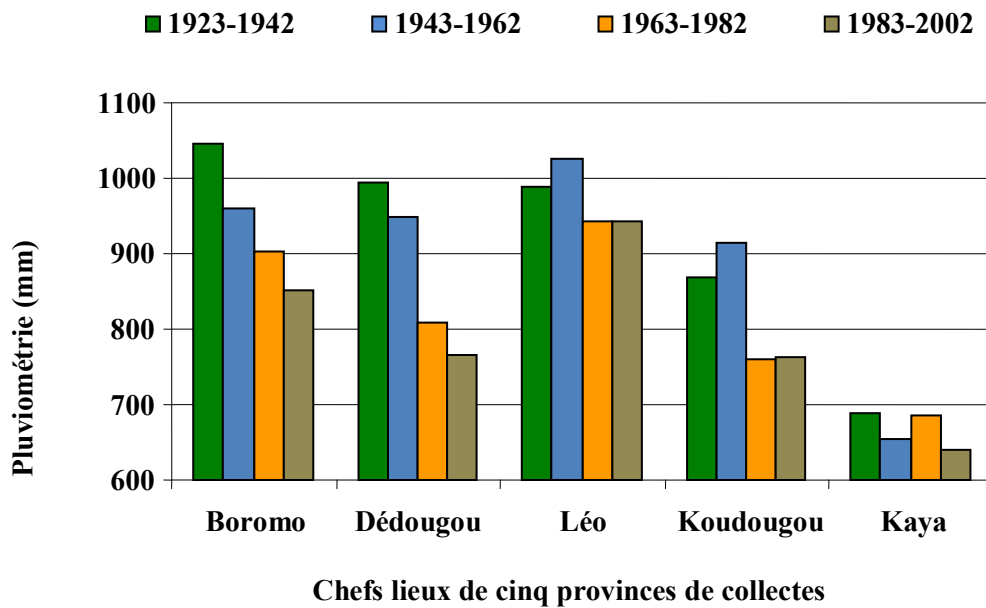


Figure 1 : régions agricoles de l'étude (administration territoriale) et villages prospectés



**Figure 2 : moyennes pluviométriques bi-décennales de 1923 à 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 (MARF). 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 variétale. 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.

Deux fiches de collecte ont été établies, l'une pour recueillir des informations générales sur le village, et l'autre sur la variété collectée (annexe 1). 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 du champ de culture, 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 (Sagnard, et *al.*, 2004) sur les récoltes de l'hivernage 2003 dans neuf 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, Bwaba). 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 les villages prospectés 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 village, de ce fait peu connues de la plupart des paysans. La fréquence d'une variété dans le village est un indicateur d'un processus évolutif tendant à

son éradication si elle est rare, ou a 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'opèrent 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, 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 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<sup>ème</sup> 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.

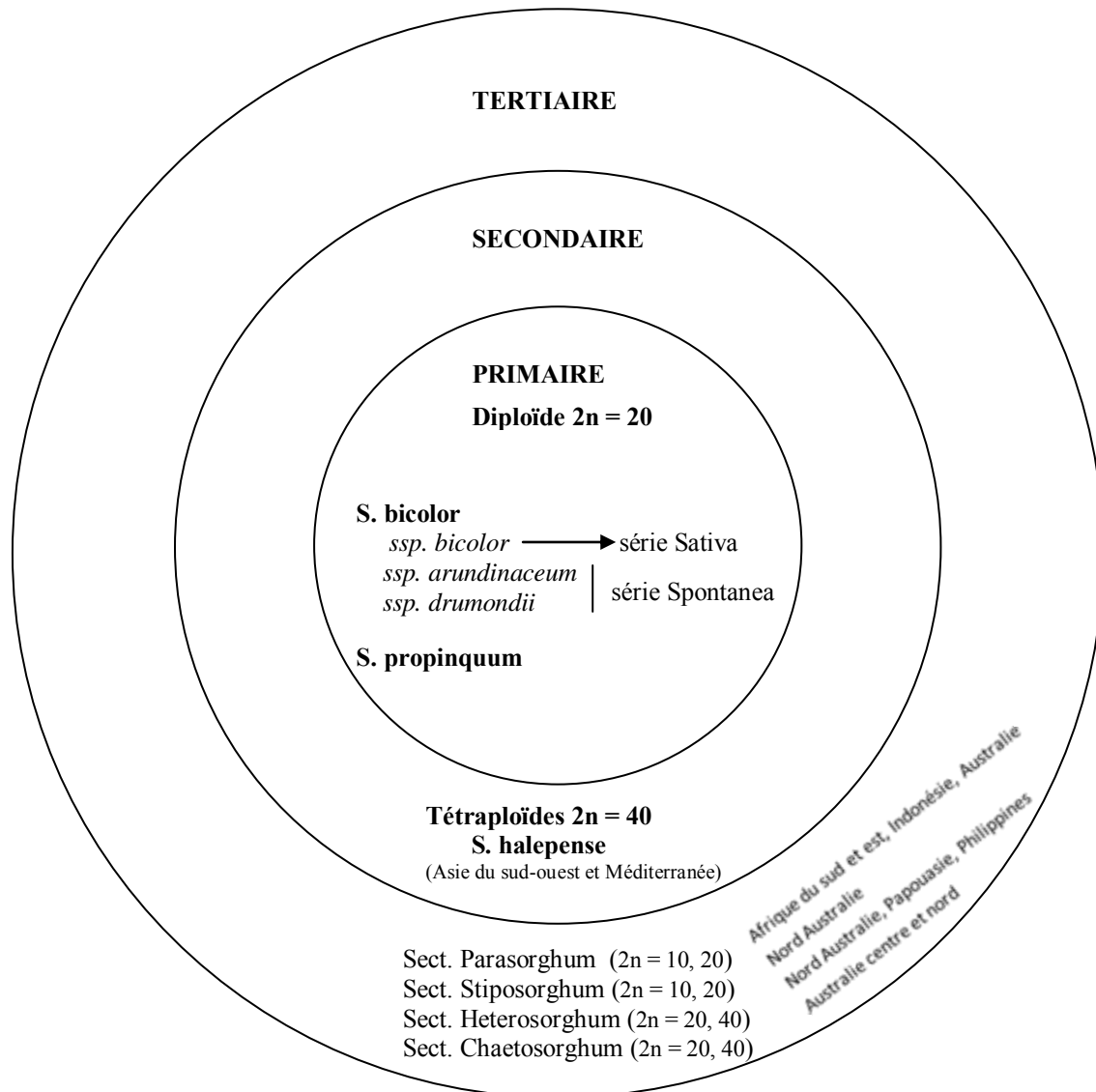
- La section *Eu-sorghum*, constitue un complexe d'espèces au sens défini par Pernes (1984), constitué des pools géniques primaire et secondaire. Elle est divisée en deux sous-sections :
  - La sous-section des *Halepense* réunit les espèces herbacées pérennes rhizomateuses. Leur génome tétraploïde a pour nombre chromosomique  $2n = 40$  ;

- La sous-section des *Arundinaceae* comprend les sorghos cultivés série *Sativa*, et les espèces sauvages annuelles série *Spontaneae*, tous diploïdes, avec pour nombre chromosomique  $2n = 20$ .
- La section *Para-sorghum* rassemble les espèces sauvages et intermédiaires. Leur génome est haploïde ( $2n = 10$ ) à tétraploïde ( $2n = 40$ ).

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* (espèce rhizomateuse rencontrée dans le sud de l'Inde, en Birmanie, au Sri Lanka et en Asie du Sud-Est) 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 2), 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**

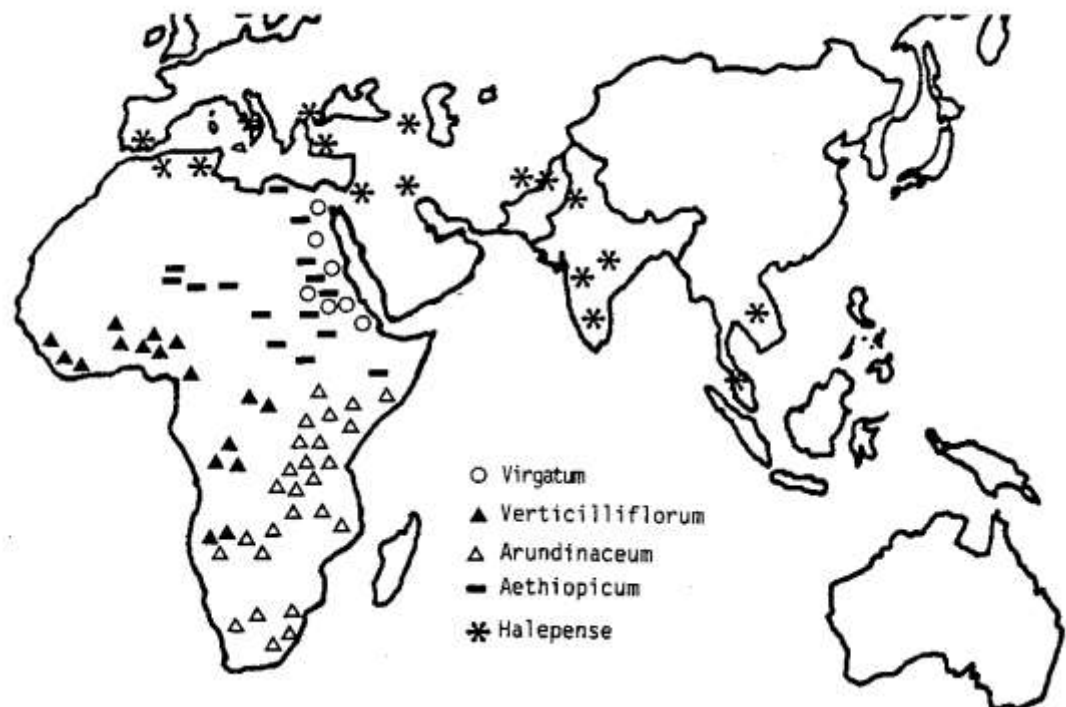
- *S. halepense* ( $2n = 4x = 40$ ), sorgho sauvage pérenne et rhizomateux. Il présente un petit grain, un fort tallage, des tiges et des feuilles étroites. *S. halepense* est utilisé comme une plante fourragère. Il a été introduit aux États-Unis au début du 19ème siècle sous le nom de Johnsongrass (Celarier, 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) :

- La race *aethiopicum*, largement distribuée dans les zones arides et borde le Sahara de la Mauritanie au Soudan ;
  - La race *arundinaceum*, rencontrée principalement dans les forêts humides d'Afrique, et en Afrique australe ;
  - La race *verticilliflorum* est la plus répandue en Afrique de l'Ouest, en particulier dans les régions de savane ;
  - 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

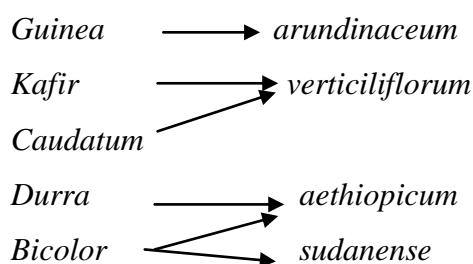
Le sorgho fait partie des espèces les plus anciennement cultivées dans le monde. L'époque de sa domestication reste imprécise. Il aurait été domestiqué il y a environ 6000 ans avant Jésus Christ, dans le Nord-Est de l'Afrique, entre le Soudan et l'Ethiopie, en bordure sud du Sahara, où les plus vieux 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'Ethiopie 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 Snowden (1936), De Wet et Huckabay (1967), Harlan (1975), 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 produite 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<sup>ème</sup> siècle. Il est actuellement cultivé presque partout dans le monde grâce aux progrès génétiques.

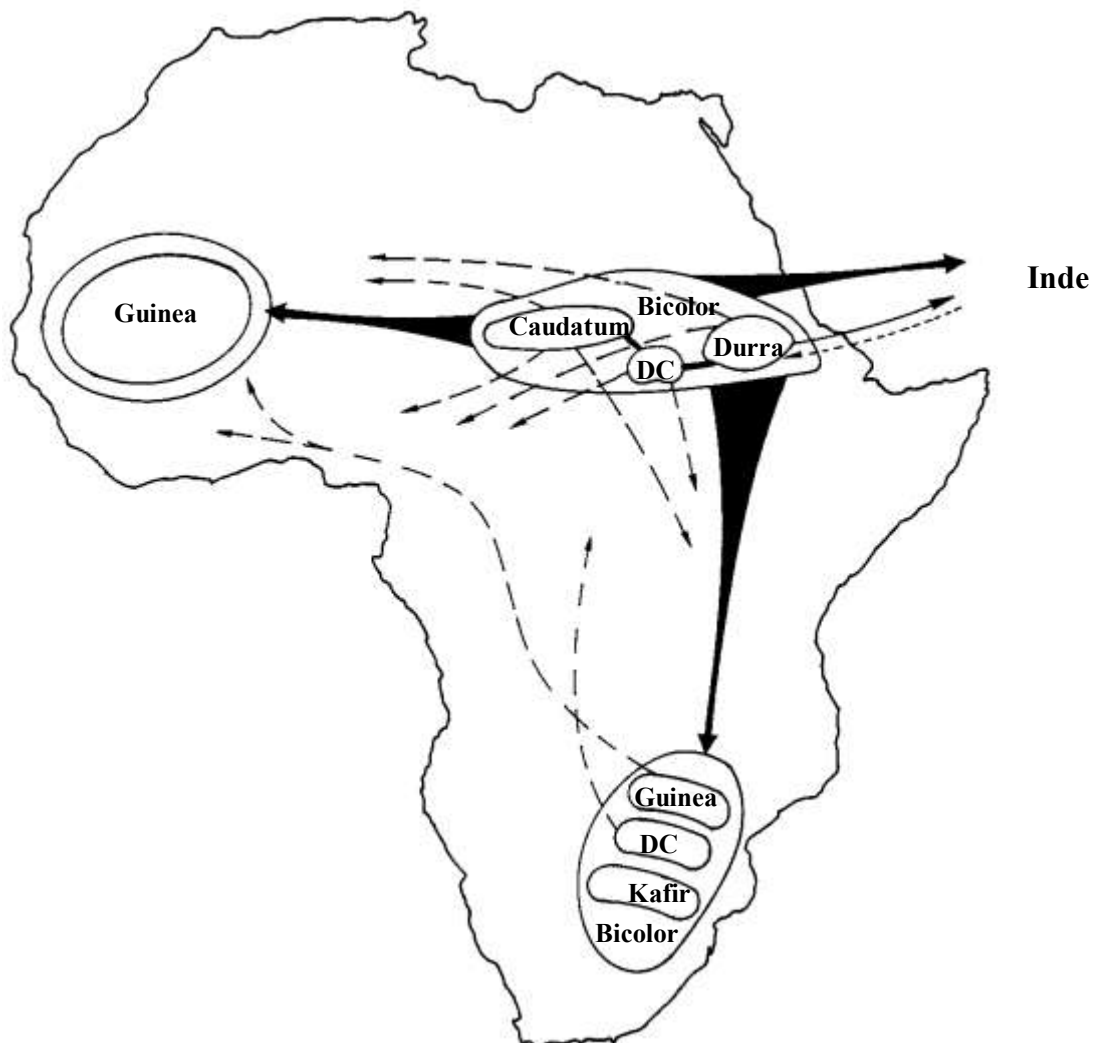


Figure 5 : schéma de domestication des sorghos cultivés (Ollitrault, 1987)

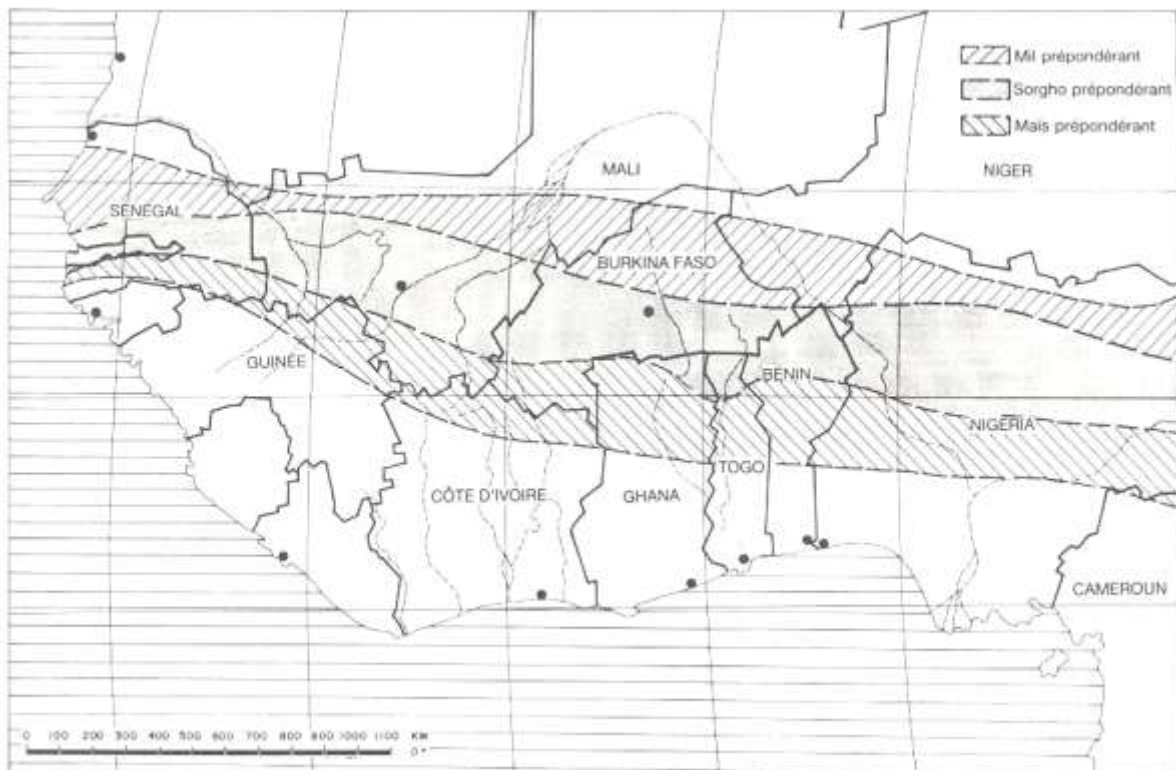
## **II.3 Statistiques générales sur la production**

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 céréalières totales. La production en grain est estimée à 57,5 millions de tonnes pour la même période, ce qui représente 2,7 % des productions céréalières (FAOSTAT, <http://www.faostat.fao.org>). Le rendement moyen est de l'ordre de 1 350 kg/ha. Ce chiffre couvre des disparités importantes entre les différents pays producteurs (ex : 3 500 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**

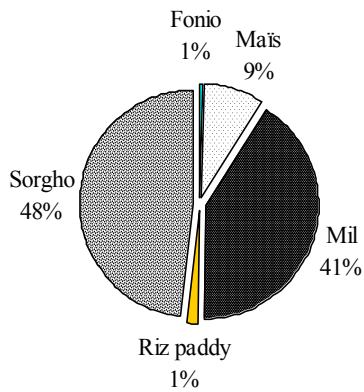
En Afrique, le sorgho occupe 24,8 millions d'hectares, soit 56,6 % des superficies mondiales consacrées à cette céréale, pour une production en grain qui est de 21,4 millions de tonnes. Les zones de culture importante se situent dans la ceinture qui s'étend de l'Atlantique à l'Ethiopie et à la Somalie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



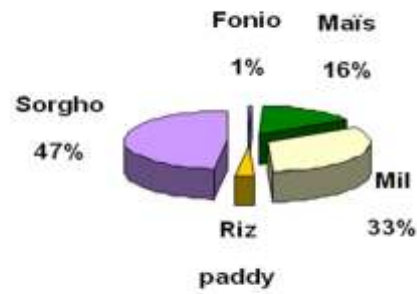
**Figure 6 : zones de culture du sorgho en Afrique de l’Ouest (Chantereau et Nicou, 1991)**

#### **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://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, les *Guinea* 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.

D'autres utilisations du sorgho sont à signaler. La paille (feuilles et tiges) sert comme fourrage. Les tiges servent comme matériaux de construction (palissade), pour la confection de natte 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 3 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* (plus productives que les *Guinea*), 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.)], d'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 germplasma 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 phytogénétiques, 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.bgr.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 phylogénétiques qui y sont stockées (Frankel et Brown, 1984 ; Brown, 1989). 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 (Djè 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* (réduction de la diversité intra-variétale à cause des multiplications par auto fécondation). Ils varient aussi en fonction des races botaniques et de la provenance géographique. Deu *et al.*, (1994) 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 révélé que les races de la sous-espèce *arundinaceum* et de la sous-espèce *bicolor* 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.



## **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 22-60)**

---

## 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 ; Djè 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 (Djè 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 selon 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.

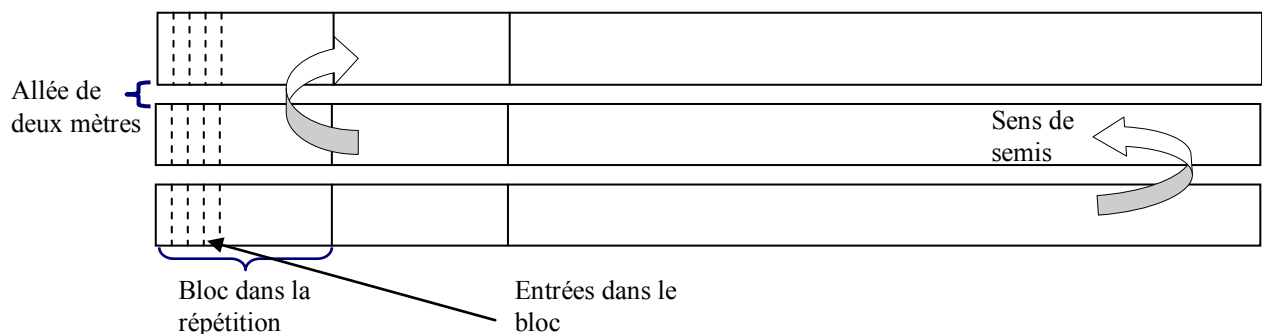
## I. MATERIEL ET METHODES

### 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 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 panicules. L'annexe 4, 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 aléatoirement 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 la tige 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 5 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 IsoAmyllic 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 ont été réalisées dans un volume final de 20  $\mu\text{l}$  contenant 5  $\mu\text{l}$  d'ADN (5ng/ $\mu\text{l}$ ), 0,2  $\mu\text{M}$  de l'amorce 3' (forward primer), 0,2  $\mu\text{M}$  de l'amorce 5' (endlabelled reverse primer), marquées au phosphore radioactif  $\gamma[^{33}\text{P}]$  ATP, 2  $\mu\text{l}$  de tampon 10X, 200 $\mu\text{M}$  de dNTPs, 0,1 U/ $\mu\text{l}$  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](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) <sub>10</sub>	8	49	Agropolis-Cirad-Genoplante ( <a href="http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit">http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit</a> )
gpsb089	(TG) <sub>9</sub>	1	50	
gpsb123	(AC) <sub>7+</sub> (GA) <sub>5</sub>	8	50	
gpsb148	(TC) <sub>3</sub> + (CA) <sub>5</sub>	7	50	
gpsb151	(CT) <sub>12</sub>	4	50	
SbAGB02	(AG) <sub>35</sub>	7	54	Taramino et al., 1997
SB4-72 (Xgap72)	(AG) <sub>16</sub>	6	60	Brown et al., 1996
SB5-206 (Xgap206)	(AC) <sub>13</sub> (AG) <sub>20</sub>	9	57	
SB6-84 (Xgap84)	(AG) <sub>14</sub>	2	58	
Xcup02	(GCA) <sub>6</sub>	9	54	Schloss et al., 2002
Xcup07	(CAA) <sub>8</sub>	10	54	
Xcup11	(GCTA) <sub>4</sub>	3	54	
Xcup14	(AG) <sub>10</sub>	3	54	
Xcup61	(CAG) <sub>7</sub>	3	54	
Xcup62	(GAA) <sub>6</sub>	1	54	
Xcup63	(GGATGC) <sub>4</sub>	2	54	
Xtxp10	(CT) <sub>14</sub>	9	50	
Xtxp15	(TC) <sub>16</sub>	5	55	Kong et al., 2000
Xtxp40	(GGA) <sub>7</sub>	7	55	
Xtxp57	(GT) <sub>21</sub>	6	55	
Xtxp65	(ACC) <sub>4</sub> (CCA) <sub>3</sub> CG(CT) <sub>8</sub>	5	55	Bhatramakki et al., 2000
Xtxp114	(AGG) <sub>8</sub>	3	50	
Xtxp136	(GCA) <sub>5</sub>	5	55	
Xtxp145	(AG) <sub>22</sub>	6	55	
Xtxp278	(TTG) <sub>12</sub>	7	50	
Xtxp289	(CCT) <sub>16</sub> (AGG) <sub>6</sub>	9	55	
Xtxp295	(TC) <sub>19</sub>	7	55	
Xtxp320	(AAG) <sub>20</sub>	1	54	
Xtxp339	(GGA) <sub>7</sub>	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

$\mu$  moyenne générale de l'essai

$\alpha_i$  effet année i

$\beta_j$  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

$\varepsilon_{ijkl}$  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<sup>e</sup> 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 de tige principale (Hp), nombre de feuilles (Nf), longueur de feuille (Lf), largeur de feuille (Laf), longueur de panicule (Lpa), poids des panicules (Ppa), poids des grains (Pgrs) et poids de 1000 grains (P1g), ainsi que la vitrosité (Vit), regroupées pluri annuellement ont servi de données d'entrée pour une analyse des corrélations entre variables, et pour une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) (Benzecri, 1984). La CHA 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 moyen d'allèles attendu par locus indépendamment de la taille de l'échantillon.

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

- $2N$  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 :

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

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

- $Ho$ , 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.

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



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 ;  $\pi$  = 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 généralement plus précoce est préférentiellement destiné à la « soudure » (période située avant les récoltes où les stocks alimentaires sont épuisés) 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-agro-écologique (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 tige (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 variance des variables agro-morphologiques**

	Cycle semis- épiaison (jours)	Hauteur de tige (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	237,50	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 R<sup>2</sup> des caractères agro-morphologiques**

Variabes	Variété	Année	Village	Zone
Cycle semis-épiaison (jours)	84,8**	6,6**	37,4**	27,8**
Hauteur de tige (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 (2005 et 2006) 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	3 500	blanc	3,0
M9-4	Biba	79,8	348,0	23,6	66,6	7,2	35,7	353,7	22,0	3 300	orangé	3,0
S8-10	Guinsa	72,5	275,4	21,8	60,5	7,5	25,5	347,0	26,1	3 300	blanc	3,0
B5-11	Velia	80,7	326,5	23,2	65,2	6,7	35,3	333,0	21,4	3 200	blanc	3,0
S10-1	Sidogo	75,6	338,7	22,8	66,3	6,9	35,6	325,4	22,1	3 200	blanc	3,0
B10-30	Pouni-n	76,3	316,1	22,0	67,8	6,6	34,5	313,6	23,0	3 100	blanc	3,0
B10-5	Pouni-n	77,5	328,4	22,5	57,7	6,8	30,6	308,9	24,1	3 100	blanc	3,0
S10-9	Sidogo	76,6	339,7	23,0	63,8	7,3	32,9	315,8	23,0	3 000	blanc	3,0
B2-6	Lon	75,9	307,9	22,7	60,0	6,6	28,2	293,0	22,2	3 000	rouge	4,5

## II.2.2 Corrélations entre caractères

L'analyse des corrélations entre caractères (tableau VIII) montre des liaisons positives et significatives entre les variables durée du cycle (Cse), nombre de feuilles (Nf), hauteur de la tige principale (HP) et longueur de la panicule (Lpa) ; ce groupe de caractères est négativement corrélé aux variables poids de panicules (Ppa), poids de grains (Pgrs), poids de 1000 grains (P1g) et à la vitrosité (Vit). Une corrélation positive et significative est aussi trouvée entre la largeur de feuille (Laf), le poids de panicules (Ppa) et le poids de grains (Pgrs). C'est entre la durée de cycle et le nombre de feuilles, et entre le poids de panicules et le poids de grains que les corrélations sont plus élevées avec respectivement des valeurs de 0,85 et de 0,96.

**Tableau VIII : matrice des corrélations entre les variables**

	Nf	Lf	Laf	Hp	Lpa	Ppa	Pgrs	P1g	Vit
Cse	0,851*	0,089	-0,335*	0,637*	0,379*	-0,476*	-0,544*	-0,421*	-0,456*
Nf		0,076	-0,120	0,548*	0,346*	-0,251*	-0,329*	-0,362*	-0,349*
Lf			0,296*	0,288*	0,453*	0,294*	0,213*	0,065	-0,263*
Laf				-0,136	0,067	0,532*	0,484*	0,167	0,106
Hp					0,456*	-0,070	-0,129	-0,289*	-0,376*
Lpa						-0,066	-0,158	-0,403*	-0,360*
Ppa							0,962*	0,352*	0,236*
Pgrs								0,392*	0,313*
P1g									0,352*

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

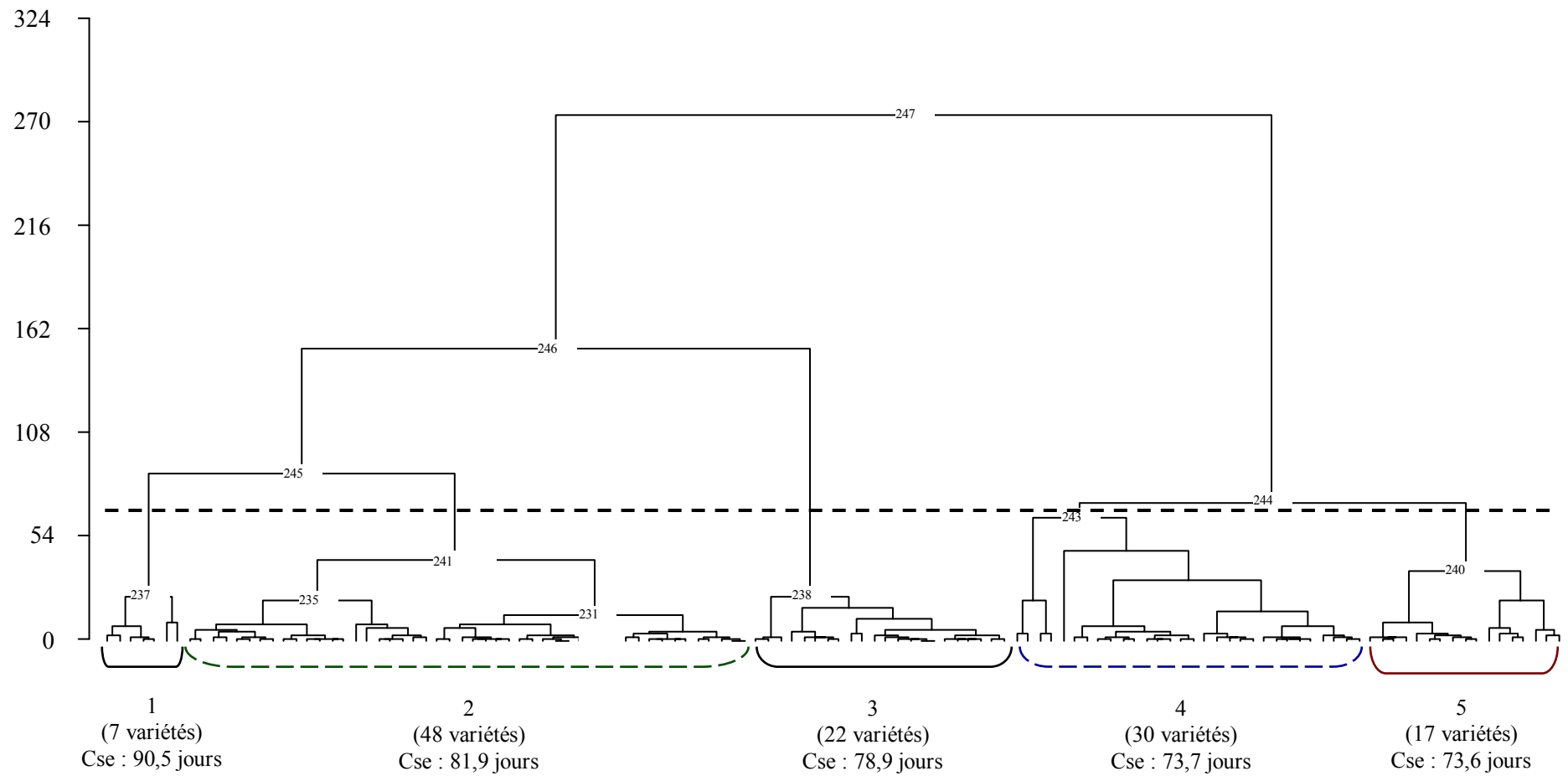
### II.2.3 Structuration de la variabilité

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 tige, 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 tige, 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 IX 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 IX : caractéristiques moyennes pour les cinq groupes établis par la CHA**

Groupes	Cycle semis-50 % épiaison (jours)	Hauteur de tige (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)
1	90,5	338,1	24,8	59,9	6,3	35,6	159,9	103,2	17,0	2,3
2	81,9	322,4	22,7	63,9	6,5	32,8	226,0	167,9	21,2	2,8
3	78,9	320,8	22,5	67,3	7,0	36,0	292,6	218,5	22,3	3,1
4	73,7	287,3	21,2	61,8	6,8	30,1	255,7	194,6	23,0	3,0
5	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.

## 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 X). 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 *margaritiferum*, 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 deux 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 XI). 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 X : 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 XI : 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<sub>S</sub></i>	<i>H<sub>o</sub></i>	<i>H<sub>e</sub></i>	<i>F<sub>ST</sub></i>
<b>Villages</b>	<b>124</b>					<b>0,06*</b>
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	
<b>Zones agro-écologiques</b>	<b>124</b>					<b>0,04*</b>
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	
<b>Origines</b>	<b>124</b>					<b>0,01</b>
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	
<b>Types de grains</b>	<b>124</b>					<b>0,08*</b>
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	
<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>4,9</b>	<b>2,3</b>	<b>0,06</b>	<b>0,37</b>	

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

*N* = nombre de variétés,

*A* = diversité allélique ou nombre moyen d'allèles par locus,

*R<sub>S</sub>* = richesse allélique,

*H<sub>o</sub>* = hétérozygotie observée,

*H<sub>e</sub>* = 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 XII), 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 XIII). 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 XII : 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 XIII : différenciation génétique ( $F_{ST}$ ) par paire de zones**

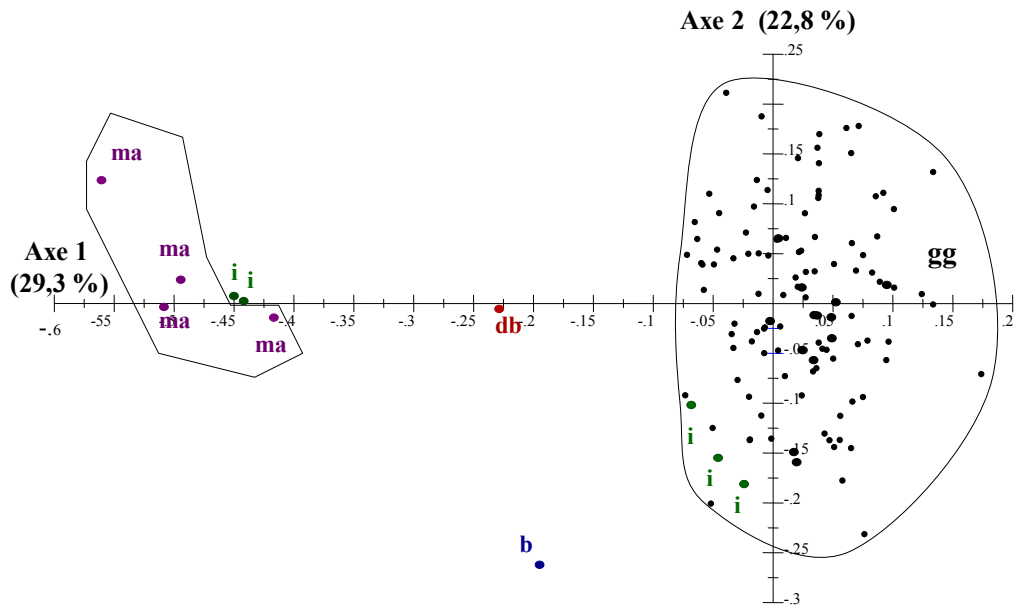
Zones agro-écologiques	Nord-Soudanienne	Sud-Soudanienne
Sub-Sahélienne	0,02	0,10*
Nord-Soudanienne		0,04*

L'analyse de la variance moléculaire (tableau XIV) 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 XIV : 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*.

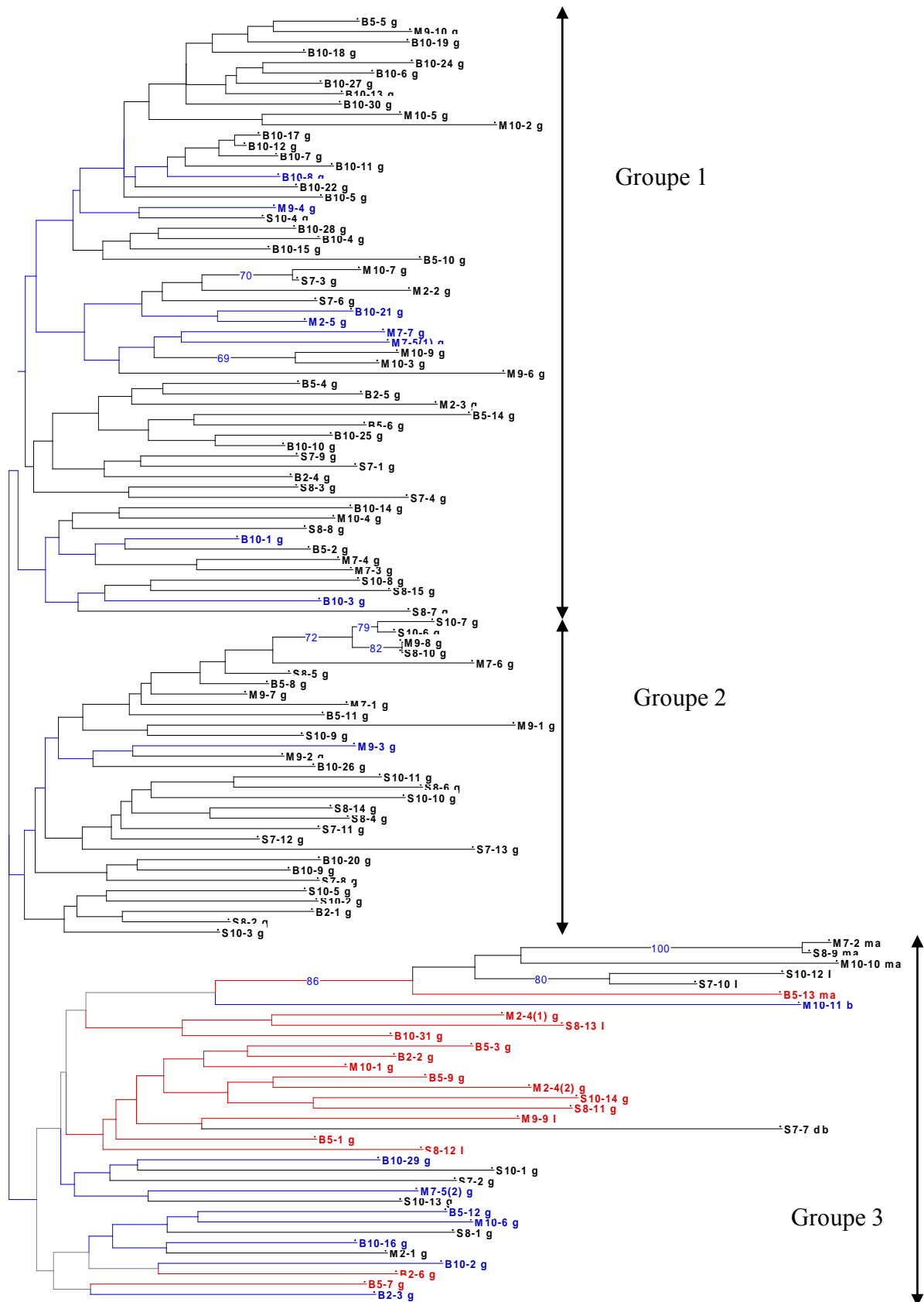


**Figure 11 : structuration des 124 individus sur les axes 1 x 2 de l'AFTD**

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.

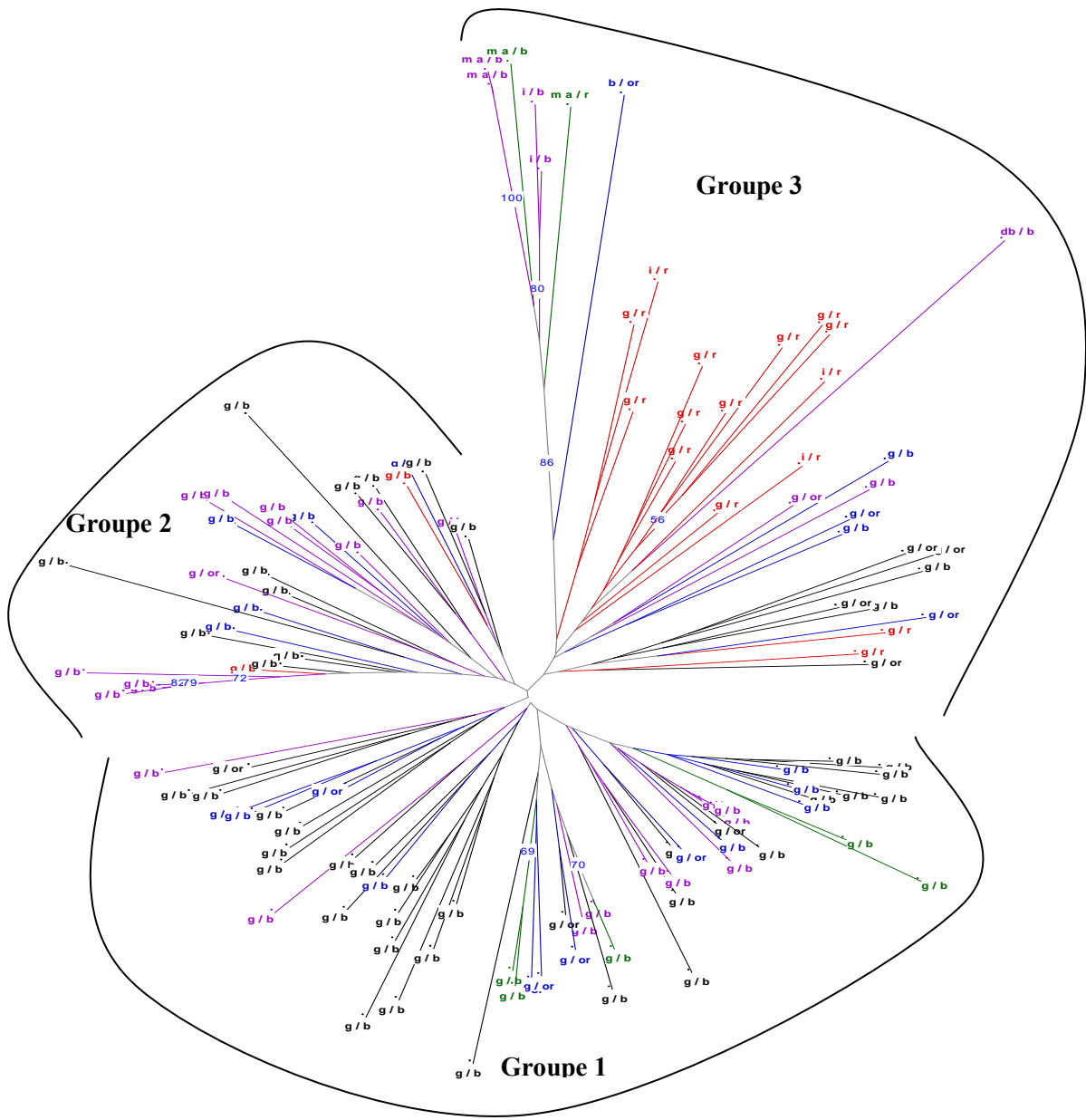
Le test de corrélation de Mantel réalisé entre matrices de dissimilarités génétiques et agro-morphologiques est significatif ( $r = 0,45$ ,  $P < 0,001$ ) et traduit bien l'existence d'une corrélation positive entre diversité agro-morphologique et diversité génétique.



**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 »



Groupe 1 de la CHA	Groupe 2 de la CHA	Groupe 3 de la CHA	Groupe 4 de la CHA	Groupe 5 de la CHA
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

**Légende :** à l’assise chaque point est caractérisé par son groupe d’appartenance de la CHA et sa race botanique [g (*Guinea gambicum*). ma (*Guinea margaritifera*) b (*Bicolor*). db (*Durra-bicolor*), i (Indéterminé)].

**Les signes à la suite des races sont :** b (grain blanc), r (grain rouge), or (grain orange)

**Figure 13 :** dendrogramme établi avec 22 locus SSR polymorphes par la méthode «*Neighbour-joining* » 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

### 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 (900-1100 mm dans le cas du Burkina). 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 tige 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. Les résultats de corrélation sont conformes aux résultats rapportés par Cochomé et Franquin (1967), Chantereau (1993) sur les plantes en C4. 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.*, (1992), avec des marqueurs enzymatiques (annexe 6). 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*, *margaritifera* 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 notable 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 germplasma local.

## **Chapitre III**

---

**Variabilité agro-morphologique et structure  
génétique intra-variétale de dix sorghos  
locaux [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] du  
Burkina Faso  
(P 61-85)**

---

## 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 paysan 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 systèmes de culture 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 de groupes 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) a rapporté des taux d'allogamie de 5 à 7 % pour les *Caudatum* et *Durra* qui sont à panicule compacte. Ollitrault (1987), Chantereau et Kondombo (1994) ont respectivement trouvé 20 % et 29 % sur les sorghos *Guinea* (à panicule plus lâche) du Burkina Faso. Djè et *al.*, (2004) ont rapporté des taux d'allogamie compris entre 7 et 16 % sur les variétés locales de race *Durra* et *Durra-*

*bicolor* du Nord-Ouest du Maroc. Barnaud et *al.*, (2008) ont également rapporté un taux moyen de 16 % sur la variété *Guinea* Kubaze Kolla du Nord-Cameroun. 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, Djè 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 (une variété) 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 agromorphologique 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 et zone de culture, fréquence dans le terroir, etc.), d'évaluer les facteurs agissant conjointement sur la variabilité des caractères agromorphologiques 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 le village. Leur caractéristique de cycle devrait favoriser des inter-croisements 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.





## 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 variété et de la semence, fréquence dans le village, 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 deux campagnes de production. Les variétés dites bien adaptées présentent souvent une grande souplesse dans les dates de semis, en raison d'une meilleure réponse à la photopériode, qui permet de caler 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 village, 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 dans des champs de case, de village, ou de brousse, ou conjointement dans des 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 dits de village sont situés à l'écart des habitations dans le village, et les champs de brousse relativement plus éloignés du 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 XV récapitule les informations relatives à chaque variété : provenance (région agricole, isohyète), numéro de collecte, durée du cycle déterminé sur le site expérimental, caractéristique du cycle décrit par les paysans, fréquence, ancienneté et aire de culture dans le village d'origine.

**Tableau XV : provenance 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 15 Juin 2003 (d1) et 6 Juillet 2006 (d2)	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°5'	3°18'	71 <sup>d2</sup> -78 <sup>d1</sup>	Précoce	Fréquente	Introduction	Village
Dablo (C-n)	500-700	S7-6	13°22'	1°5'	65 <sup>d2</sup> -72 <sup>d1</sup>		Fréquente	Ancienne	Mixte (cultivée en case et brousse)
Sidogo (C-n)	500-700	S10-10	13°11'	1°4'	71 <sup>d2</sup> -74 <sup>d1</sup>		Fréquente	Introduction	Mixte (cultivée en case et brousse)
Biba (BM)	700-900	M9-8	12°47'	2°58'	71 <sup>d2</sup> -75 <sup>d1</sup>		Fréquente	Ancienne	Mixte (cultivée en case et brousse)
Vélia (C-o)	700-900	B5-4	12°2'	2°1'	76 <sup>d2</sup> -82 <sup>d1</sup>	Intermédiaire	Fréquente	Introduction	Mixte (cultivée en case et brousse)
Pouni-nord (C-o)	700-900	B10-25	12°34'	2°37'	80 <sup>d2</sup> -84 <sup>d1</sup>		Fréquente	Ancienne	Mixte (cultivée en case et brousse)
Guinsa (C-n)	500-700	S8-15	13°4'	1°9'	82 <sup>d2</sup> -87 <sup>d1</sup>	Tardif	Rare	Introduction	Brousse (bas-fonds)
Biba (BM)	700-900	M9-6	12°40'	2°50'	85 <sup>d2</sup> -96 <sup>d1</sup>		Rare	Ancienne	Brousse (bas-fonds)
Lon (C-o)	900-1100	B2-4	11°27'	2°8'	89 <sup>d2</sup> -101 <sup>d1</sup>		Rare	Ancienne	Brousse
Sybi (BM)	900-1100	M2-2	11°51'	2°58'	95 <sup>d2</sup> -104 <sup>d1</sup>		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 de 6 m sans répétition au cours de l'hivernage 2005. 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 ne retenir qu'une plante aléatoirement par poquet une dizaine de jours après la levée.

Neuf caractères quantitatifs ont servi à décrire le matériel végétal : la hauteur de tige, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur de la troisième feuille sous paniculaire, et 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 (couleur de glume et couleur de grain) ont été observés en raison de leur facilité d'interprétation au niveau allélique (Doggett, 1988 ; Chantereau, 1993).

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)  
 $\mu$  est la moyenne générale de l'essai ;  $\alpha_i$  est l'effet de la variété i ;  $\beta_{ij}$  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) ;  $\gamma_k$  l'effet répétition ;  $\delta_{kl}$  l'effet bloc dans la répétition ;  $\varepsilon_{ijkl}$  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), sur la base de l'appartenance des variétés aux différents groupes phénologiques tels que décrits par les paysans, 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* avec douze marqueurs microsatellites qui sont : gpsb089, gpsb148, gpsb151 (CIRAD, ([http://sat.cirad.fr/sat/sorghum\\_SSR\\_kit](http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit)) ; SB4-72 (Xgap72) (Brown et al., 1996), Xcup02, Xcup07, Xcup63 (Schloss et al., 2002) ; Xtxp57, Xtxp65, Xtxp278, Xtxp295, Xtxp320 (Bhatramakki et al., 2000). C'est marqueurs ont été choisis parmi les 29 marqueurs de l'analyse inter-variétale. Le génotypage a été réalisé dans les mêmes conditions que l'analyse inter-variétale ; toutefois les dépôts ont été réalisés en simplex.

#### **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 ( $A$ ), 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.

L'ensemble des paramètres de diversité et de structuration génétique ont été calculés avec le logiciel FSTAT version 2.9.3 (Goudet, 2001).

## **b) Taux d'allogamie**

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'allo-fécondation. Le taux d'allogamie 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'allogamie varie théoriquement de 0 (autofécondation complète) à 1 (allo-fécondation 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).

### **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 5.0.150 (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 la couleur 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). Ces différentes classes de couleur de grain ou de couleur de glume sont déterminées par des différences alléliques à un petit nombre de gènes mendéliens : essentiellement gènes P et Q pour la couleur de glume, Y et R pour la couleur du grain (Doggett, 1988).

#### **II.1.2 Analyse de la variance**

L'analyse de la variance des neuf caractères quantitatifs (durée de cycle semis-50 % épiaison, hauteur de tige, 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 tige) 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 Vélie 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 descendances S1 par variété							Fréquence observée pour la couleur de glume dans les 25 descendances 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 ( $\mu$ ) et des variances ( $\sigma^2$ ) intra-variétales des S1 pour les caractères agro-morphologiques étudiés**

Sources de variation		Cycle semis-50 % épiaison (jours)	Hauteur de tige (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	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$	$\mu$	$\sigma^2$
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

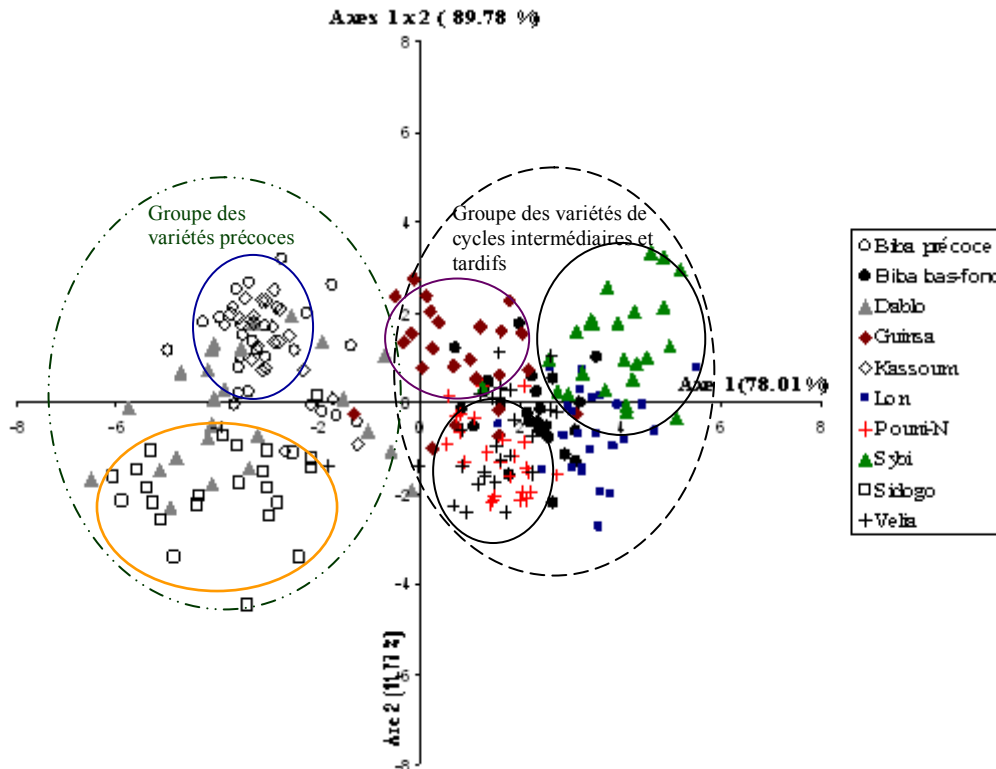
\* Effet significatif du facteur ( $P < 0,05$ ) ; \*\* effet hautement significatif du facteur ( $P < 0,01$ ) ; CM = Carré Moyen.

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 variabilité 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. Entre 2 et 19 allèles ont été identifiés aux différents locus (valeurs extrêmes observées avec les locus Xcup63 et Xtxp295), et entre 22 et 41 allèles le sont par variété (tableau XVIII). La diversité allélique est de 5,7 allèles par locus. 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>Na</i>	<i>A</i>	<i>Rs</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	<i>Fis</i>	<i>t</i>	<i>Ne</i>
Kassoum	M7-6	42	22	1,8	1,8	0,02	0,09 ± 0,08	0,81	11	13,83
Dablo	S7-6	83	32	2,7	2,6	0,08	0,32 ± 0,18	0,75	14	14,28
Sidogo	S10-10	92	36	3,0	2,9	0,12	0,42 ± 0,23	0,71	17	14,65
Biba	M9-8	58	27	2,3	2,1	0,12	0,15 ± 0,13	0,24	62	20,19
Vélie	B5-4	83	32	2,7	2,6	0,10	0,37 ± 0,22	0,74	15	14,36
Pouni-nord	B10-25	67	29	2,4	2,3	0,08	0,22 ± 0,18	0,64	22	15,27
Guinsa	S8-15	100	41	3,4	3,3	0,24	0,47 ± 0,21	0,50	33	16,63
Biba	M9-6	75	27	2,3	2,2	0,14	0,37 ± 0,22	0,62	23	15,43
Sybi	M2-2	83	32	2,7	2,6	0,12	0,42 ± 0,21	0,71	17	14,62
Lon	B2-4	92	35	2,9	2,8	0,14	0,38 ± 0,17	0,63	23	15,34
<i>10 Villages</i>		<i>100</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>22</i>	

*P* = taux de polymorphisme au seuil de 95 %,

*Na* = nombre total d'allèles,

*A* = diversité allélique ou nombre moyen d'allèles par locus,

*Rs* = richesse allélique,

*Ho* = hétérozygotie observée,

*He* = hétérozygotie attendue,

*F<sub>IS</sub>* = écart à la panmixie dans une sous-population,

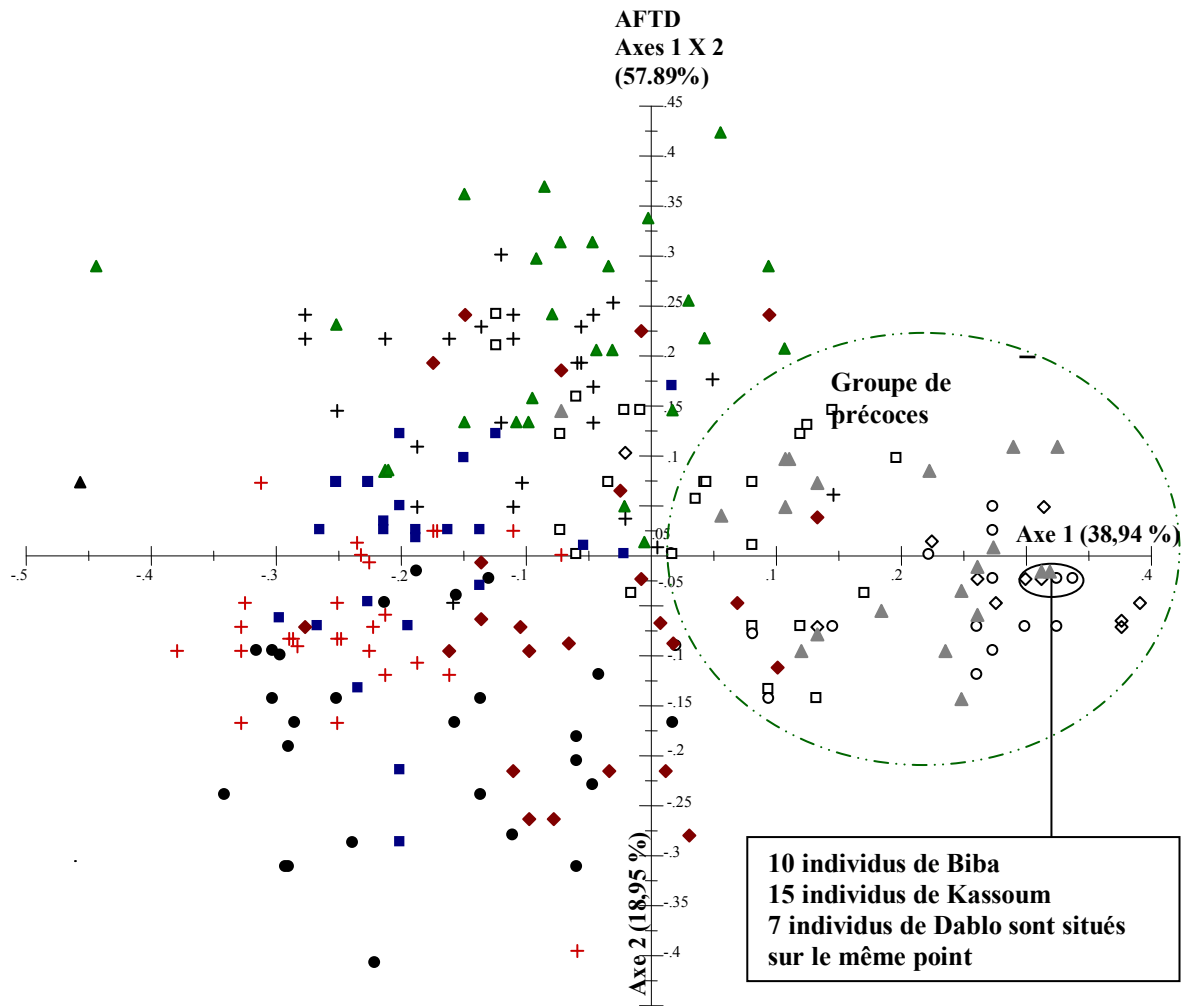
*t* = taux d'allogamie,

*Ne* = effectif efficace de la population pour 25 individus par variété

## 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. Les individus de la variété M9-8 de Biba et ceux de la variété M7-6 de Kassoum sont relativement bien regroupés ; par contre, ceux de la variété S7-6 de Dablo et S10-10 de Sidogo sont dispersés. Un autre groupe rassemble essentiellement les variétés de cycles intermédiaire et tardif. Dans ce groupe on observe une certaine tendance des individus 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). 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  $t$  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. La régression linéaire 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 avec un  $R^2 = 0,053$  (figure 16).

L'effectif efficace ( $N_e$ ) calculé pour chaque variété indique que 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.

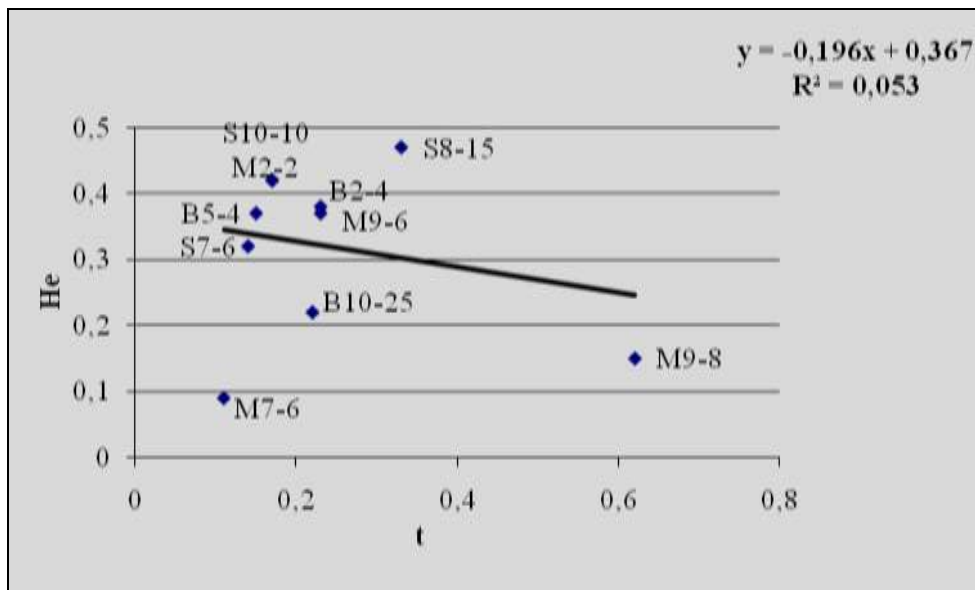


Figure 16 : régression linéaire entre diversité génétique et taux d'allogamie

### 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.

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 de 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 ( $H_o = 0,12$ ). Nos résultats de diversités intra-variétale sont comparables à ceux obtenus dans d'autres études de diversité avec des variétés locales de sorghos qu'elles soient agro-morphologique (Djè et *al.*, 2007) ou génétique (Medraoui et *al.*, 2007). Barnaud et *al.*, (2007) ont aussi rapporté des valeurs comprises entre 0,34 et 0,47 dans une analyse de la diversité intra-variétale de sorgho *Guinea* du Cameroun. A un niveau plus générale, la diversité génétique totale ( $He = 0,53$ ) est assez similaire à celle établie par Casa et *al.*, (2005) sur des génotypes guinea ( $He = 0,46$ ). Elle est ce pendant inférieure aux valeurs rapportées par Djè et *al.*, (2004) sur des sorghos de race *Durra* et *Durra-bicolor* du Nord-Ouest du Maroc ( $He = 0,74$ ). Les caractéristiques de diversité intra-variétale des sorghos locaux du Burkina sont aussi attribuables aux pratiques culturelles paysannes (semis de variétés différentes dans des champs rapprochés, etc.) qui contribuent aux flux de gènes.

La convergence des résultats entre l'analyse agro-morphologique et génétique est intéressante à approfondir. Une comparaison entre paramètres de différenciation génétique ( $F_{ST}$ ) et agro-morphologique ( $Q_{ST}$ ) considérées caractère par caractère (Spitze, 1993) permettrait d'évaluer le rôle des caractères quantitatifs dans la différenciation entre subdivisions de la population étudiée, et la réponse des caractères à des effets de sélections divergentes ou convergente.

Dans cette étude la corrélation entre les deux diversités ( $r = 0,28$ ,  $p < 0,05$ ) est similaire à celle rapportée par Hamza et *al.*, (2004) à l'aide de 15 marqueurs SSR avec 26 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) de la Tunisie ( $r = 0,25$   $P < 10^{-5}$ ). 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 ( $r = 0,19$   $p < 10^{-3}$ ).

Le taux d'allogamie de 22 % est notable et conforme à ceux déjà établis dans d'autres études sur des variétés locales de sorgho africain appartenant à la race *Guinea* (Ollitrault, 1987 ; Chantereau et Kondombo, 1994, Barnaud et *al.*, 2008). Des taux d'allogamie quelquefois moins élevés ont été en général observés avec d'autres races de sorgho. Djè et *al.*, (2004) rapportent respectivement 7 % et 16 % sur des variétés *Durra* et *Durra-bicolor* du Maroc. Barnaud et *al.*, 2008 ont trouvé avec des variétés du Cameroun, 5 % sur un *Durra-bicolor*, 7 % sur un *Guinea-Caudatum* et 20 % sur un *Durra-Caudatum*. Dans notre étude, la variété Lallé de Biba a montré un taux d'allogamie très élevé (62 %), presque comparable à celui observé en moyenne avec la variété « Za'toota » de race *Durra* (40 %), (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 la 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

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 ordre que celle trouvée par Barnaud et *al.*, (2007) entre variétés de différentes races collectées dans un village du Cameroun ( $F_{ST} = 0,36$ ). Les différences de phénologie jouent un rôle explicatif dans la différenciation mise en évidence dans notre étude 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 vérifiée. 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. 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 (Delaunay *et al.*, 2008).

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 biennal ou triennal. 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 un village, 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 le village. 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'accompagne d'hétérozygotie et éventuellement 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 4) 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 (lignées, hybrides) 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 les villages, 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 germplasma 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 synthétiques 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, tout comme l'adaptation photopériodique des sorghos qui permet une synchronisation du cycle avec les variations spatiotemporelles de la saison des pluies. Le caractère de productivité élevée, longtemps privilégié dans les programmes d'amélioration est insuffisant 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.

## **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 prélève 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., 1992. 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., 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.
- 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., 1989. 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 Sorgheae 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., Tesar 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 Agriculture*, 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., Chantereau 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., Chantereau J., 2006. A global view of genetic diversity in cultivated sorghum using a core collection. *Genome*, 49 : 168-180.
- Deu M., Sagnard F., Chantereau 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.
- Djè 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.

- Djè 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.
- Djè 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
- Djè 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<sup>ème</sup> 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.htm>
- 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.
- 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.
- Glazmann 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.
- Goudet J., 2001. FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3). <http://www.unil.ch/popgen/softwares/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 J.L., 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 repeat (SSRs). *Theor. Appl. Genet.*, 101 : 438-448.
- 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., Benlhabib 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://agristat.bf.tripod.com>
- Moench C., 1794. *Methodus plantas horti botanici et agri.*, 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 Resources*, 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. Adlard, London, 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.
- 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.
- Teshome A., Fahrig L., Torrance J.K., Lambert J.D., Arnason T.J. And Baum B.R., 1999. Maintenance of Sorghum (*Sorghum bicolor*, Poaceae) landrace diversity by farmers' selection in Ethiopia. *Economic Botany*, 53 : 79-88.
- Traoré S.B., Reyniers F., Vaksman 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 : 97-59.
- 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 Evolution*, 52 : 869 – 878.

---

**Annexes**  
**(P 100-114)**

---



## Annexe 1 : fiche de collecte de variétés locales de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] au Burkina Faso (2003- 2004) : INERA/CIRAD

### Informations générales sur le site

Région	Province	Département	Village	Références GPS
				Altitude Latitude Longitude

### Démographie

Effectif de la population	Principaux groupes ethniques et importance en termes d'effectif

### Informations relatives à la culture du sorgho dans le village

Quelle est la place du sorgho dans le village

1<sup>ère</sup> culture céréalière

2<sup>ème</sup> culture céréalière

3<sup>ème</sup> culture céréalière

Combien de variétés de sorgho sont cultivées dans le village ?

Depuis quand ces variétés sont cultivées dans le village ?

---



---

Il y a-t-il eu des variétés qui ont disparu ? oui  non

Si oui citer les variétés qui ont disparu et les raisons de leur disparition

---



---

En existe-t-il en voie de disparition ? oui  non

Si oui citer les variétés en voie de disparition et les menaces qui pèsent sur elles

---



---

Quelles stratégies utilisent-ils pour préserver la diversité des variétés locale de sorgho ?

---

Existe-t-il des sorghos sauvages dans le village ? oui  non

Si oui, localisation par rapport aux champs de cultures ?

---

Quelles sont les contraintes à la culture du sorgho dans le village

Sols  maladies  ravageurs (striga, etc.)  autres

Niveau de production annuelle du sorgho dans le village

Excédentaire  moyen  déficitaire

### Fiche de collecte individuelle

**Région agricole :**

Date :	Collecteur :	Numéro d'accèsion
--------	--------------	-------------------

Nom de l'agriculteur	Sexe	Ethnie	Age	Province	Département	Village	Quartier

<b>Nom du cultivar</b>		Signification					
<b>Statut</b>	Ecotype.....			Variété améliorée.....			
<b>Race botanique</b>			Sous race				
<b>Origine</b>	Ancestrale.....		Introduction : don....., achat au marché....autre....				
<b>Fréquence</b>	Abondant		Fréquent	Occasionnel	Rare		
<b>Source de collecte</b>	Champ		Grenier		Autres		
<b>Type d'échantillon</b>	Panicule : vrac de récolte.....				Semences.....		
<b>Mode de prélèvement</b>		Hasard			Sélection		
<b>Aire de culture habituelle</b>	Champ de case	Champ de brousse	Champ mixte (brousse et case)		bas-fonds		
<b>Identification du champ</b>		Altitude		Latitude		Longitude	
<b>Type de sol</b>	Sablo	Sablo- argileux		Limoneux	Autres		
<b>Date de semis approximative de la variété dans l'exploitation donnatrice</b>							
<b>Cycle</b>	Précoce	Moyen		Tardif	En jours		
<b>Caractères avantageux de la variété</b>							
<b>Défauts de la variété</b>							
<b>Sensibilité aux maladies et ravageurs</b>							
<b>Objectif de production</b>							
<b>Usages culinaires</b>							

Combien de variétés sont cultivées par l'exploitation ? Classer les par ordre d'importance et donner les superficies occupées par chacune d'elle

La variété collectée est elle cultivée seule ou en association avec d'autres variétés de sorgho et les quelles ? Ou avec d'autres cultures ?

Quels sont vos critères de sélection ?

Mode d'obtention de la semence pour la future campagne

Sélection avant récolte  au moment des récoltes  vrac de récolte

Vrac de grains

Renouvellement de la semence

Annuelle  biennale  triennale

Autres informations

## **Annexe 2 : description botanique des cinq races principales 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 3 : quelques usages du sorgho au Burkina Faso



**Tô (met local)**



**Bière locale**



**Aliment de bétail**



**Beignets locaux**



**Potasse**



**Stockage pour le combustible**



**Palissade**



**Usage dans le  
composte**

## Annexe 4 : liste du matériel caractérisé

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

<b>Numéro d'entrée</b>	<b>Nom de la variété</b>	<b>Numéro de collecte</b>	<b>Village de collecte</b>	<b>Zone agro-écologique</b>	<b>Type botanique</b>	<b>Couleur de grain</b>	<b>Groupe de la CHA</b>
19	Noognaaba-2	S8-7 <sup>ar</sup>	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 <sup>ar</sup>	Guinsa	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Rouge	D
24	Rog-ne-nini	S8-12 <sup>ar</sup>	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 <sup>ar</sup>	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 <sup>ar</sup>	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	C

<b>Numéro d'entrée</b>	<b>Nom de la variété</b>	<b>Numéro de collecte</b>	<b>Village de collecte</b>	<b>Zone agro-écologique</b>	<b>Type botanique</b>	<b>Couleur de grain</b>	<b>Groupe de la CHA</b>
38	Pagrayi	S10-11	Sidogo	Sub-Sahélienne	Guinea gambicum	Blanc	B
39	Balinga	S10-12 <sup>ar</sup>	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) <sup>ar</sup>	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



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

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

<b>Numéro d'entrée</b>	<b>Nom de la variété</b>	<b>Numéro de collecte</b>	<b>Village de collecte</b>	<b>Zone agro-écologique</b>	<b>Type botanique</b>	<b>Couleur de grain</b>	<b>Groupe de la CHA</b>
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 <sup>ar</sup>	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 <sup>ar</sup>	Pouni-nord	Nord Soudanienne	Guinea gambicum	Blanc	C

<b>Numéro d'entrée</b>	<b>Nom de la variété</b>	<b>Numéro de collecte</b>	<b>Village de collecte</b>	<b>Zone agro-écologique</b>	<b>Type botanique</b>	<b>Couleur de grain</b>	<b>Groupe de la CHA</b>
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 <sup>ar</sup>	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 5 : modalités des variables qualitatives

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

## Annexe 6 : résultats de quelques auteurs ayant servi 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
<b>Ollitrault (1987)</b>	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
<b>Morden et al., (1989)</b>	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
<b>Zongo (1991)</b>	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
<b>Aldrich et al., (1992)</b>	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

<b>Auteurs</b>	<b>Nombre de variétés analysées</b>	<b>Type de marqueurs utilisés</b>	<b>Taux de polymorphisme</b>	<b>Nombre moyen d'allèles par Locus</b>	<b>Taux d'hétérozygotie espéré</b>	<b>Différenciation génétique</b>
<b>Ghebru et al., (2002)</b>	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
<b>Uptmoor et al., (2003)</b>	23 variétés collectées dans différentes régions d'Afrique du Sud	25 SSR	100 %	6,6	0,60	Non rapporté
<b>Casa et al., (2005)</b>	104 variétés de 5 races (73 cultivés +31 sauvages) d'Afrique	76 SSR	Non rapporté	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

<b>Auteurs</b>	<b>Nombre de variétés analysées</b>	<b>Type de marqueurs utilisés</b>	<b>Taux de polymorphisme</b>	<b>Nombre moyen d'allèles par locus</b>	<b>Taux d'hétérozygotie espéré</b>	<b>Différenciation génétique</b>
<b>Folkertsma et al., (2005)</b>	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
<b>Deu et al., (2006)</b>	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
<b>Barnaud et al., (2007)</b>	21 variétés du Cameroun (Duupa) polyculture	14 SSR	100	8,8	0,32	0,36
<b>Deu et al., (2008)</b>	472 variétés de 4 races botaniques (excepté les <i>Kafir</i> ) du Niger	28 SSR	Non rapporté	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*. 120 : 1511-1523.

---

# Genetic structure among sorghum landraces as revealed by morphological variation and microsatellite markers in three agroclimatic regions of Burkina Faso

Clarisse Barro-Kondombo · Fabrice Sagnard · Jacques Chantereau ·  
Monique Deu · Kirsten vom Brocke · Patrick Durand · Eric Gozé ·  
Jean Didier Zongo

Received: 20 October 2008 / Accepted: 19 January 2010  
© Springer-Verlag 2010

**Abstract** Diversity among 124 sorghum landraces from 10 villages surveyed in 3 regions of Burkina Faso covering different agroecological zones was assessed by 28 agromorphological traits and 29 microsatellite markers. 94.4% of the landraces collected belonged to the botanical race guinea (consisting of 96.6% guinea gambicum and 3.4%

guinea margaritifera), 74.2% had white kernels, 13.7% had orange and 12.1% had red kernels. Compared to the “village nested within zone” factor, the “variety nested within village within zone” factor predominately contributed to the diversity pattern for all nine statistically analysed quantitative traits. The multivariate analyses performed on ten morphological traits identified five landrace groups, and of these, the red kernel sorghum types appeared the most homogenous. 2 to 17 alleles were detected per locus with a mean 4.9 alleles per locus and a gene diversity ( $He$ ) of 0.37. Landraces from the sub-Saharan zone had the highest gene diversity ( $He = 0.38$ ). Cluster analysis revealed that the diversity was weakly stratified and could not be explained by any biophysical criteria. One homogenous guinea margaritifera group was distinguished from other guinea landraces. The red kernel type appeared to be genetically distinct from all other guinea landraces. The kernel colour was the principal structuring factor. This is an example of a homogeneous group of varieties selected for a specific use (for local beer preparation), mainly grown around the households in compound fields, and presenting particular agromorphological and genetic traits. This is the most original feature of sorghum diversity in Burkina Faso and should be the focus of special conservation efforts.

Communicated by A. Charcosset.

C. Barro-Kondombo  
INERA, CRREA du Centre, BP 10 Koudougou, Burkina Faso

F. Sagnard · M. Deu  
CIRAD, UMR Développement et Amélioration  
des Plantes, Montpellier 34398, France

F. Sagnard  
International Center of Research for the Semi-Arid Tropics  
(ICRISAT), P.O. Box 39063, Nairobi, Kenya

J. Chantereau (✉) · K. vom Brocke  
CIRAD, UPR Adaptation Agroécologique  
et Innovation Variétale, Montpellier 34398, France  
e-mail: jacques.chantereau@cirad.fr

K. vom Brocke  
International Center of Research for the Semi-Arid Tropics  
(ICRISAT), BP 320 Bamako, Mali

P. Durand  
IRD, UMR CNRS-IRD2724-Généétique et Evolution des  
maladies infectieuses, 911 Avenue Agropolis, BP 64501,  
34394 Montpellier Cedex 5, France

E. Gozé  
CIRAD, UPR Systèmes de Culture Annuels,  
Montpellier 34398, France

J. D. Zongo  
Université de Ouagadougou, UFR Sciences de la Vie et  
de la Terre, 03, BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

## Introduction

Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) has been cultivated for human consumption since ancient times. Domestication likely began in northeastern Africa around 8,000 years ago, in regions located between the current countries of Sudan and Ethiopia (Wendorf et al. 1992). Thousands of years of selection by farmers, in a range of

different environments, based on the variability induced by mutation, introgression and recombination, gave rise to very high morphological and genetic diversity in this multiuse cereal. Cultivated sorghums have been classified into 5 basic botanical races and 10 intermediate races based on the panicle, grain and spikelet morphology (Harlan and de Wet 1972).

Sorghum is the main food crop in Burkina Faso. Over the 1990–2004 period, the mean annual sorghum cropping area was 1.4 million ha (or 48% of the total cereal cropping area), with a mean production of 1.2 million ton of grain, or 47% of the national cereal production (MAHRH/DGPSA 2006). This production was mainly yielded by landraces belonging to the botanical race guinea (Zongo 1991; Zongo et al. 2005), for which West Africa is the main centre of diversity (Harlan 1975). These landraces are well adapted to the extensive cropping systems that prevail in Burkina Faso. The dynamic approach of farmers for managing varietal diversity involves selecting varieties with the best potential for meeting a range of different environmental characteristics and production/usage objectives. Contrary to multi-variety sorghum cropping systems that prevail in Cameroon (Barnaud et al. 2007), farmers in Burkina Faso manage their varieties separately throughout the crop cycle (sowing–harvest) and during storage. They must therefore have precise knowledge on the agronomic traits and on each variety's potential performance for a specific type of processing. Farmers in Burkina Faso must also be able to assess the physical constraints of the cropping environment. It is therefore essential to take into consideration this type of knowledge when studying the in situ diversity of crop plants (Brush 2000).

The intra-specific diversity of sorghum can be characterised based on morphological traits (Appa Rao et al. 1996; Teshome et al. 1997; Grenier et al. 2004; Barro-Kondombo et al. 2008). Enzymatic and molecular genetic markers have also recently been used for this purpose. Accessions from ex situ collections were used in most of these studies (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). However, passport data were the only available documentation on them.

Data obtained from previous studies carried out with in situ collected landraces associated with cropping system surveys have enhanced the identification and assessment of evolutionary factors responsible for observed diversity structures (Djé et al. 1999; Ghebru et al. 2002; Barnaud et al. 2007). In an enzymatic marker study conducted in Burkina Faso by Ollitrault (1987), the diversity of sorghum landraces was structured into the three racial groups of guinea gambicum (by far the majority group), guinea margaritifera and durra. The gambicum, guineense and margaritifera types are subgroups of the botanical race

guinea, as described by Snowden (1936). *Margaritifera* is characterised by small, vitreous kernels. The agromorphological diversity of sorghum in Burkina Faso is closely linked with a north–south climatic gradient (Zongo 1991), while the genetic diversity measured by neutral markers has not shown any geographical, ethnolinguistic or environmental structuring (Ollitrault 1987; Zongo 1991; Zongo et al. 2005). Recently, Barro-Kondombo et al. (2008) have highlighted the importance of intra-village agromorphological diversity influences when comparing sorghum diversity between two regions located in different agroclimatic zones in Burkina Faso.

In many sub-Saharan countries where rainfall levels have been declining since the 1970s, the intensification of cash crops and the development of formal seed programmes could have a negative impact on the genetic diversity of crops grown in traditional agrosystems. In areas with the highest rainfall levels, sorghum is now being cropped on the least fertile soils due to the success of cotton cropping in rotation with maize, so varieties that were formerly grown on the most fertile soils are now gradually being abandoned.

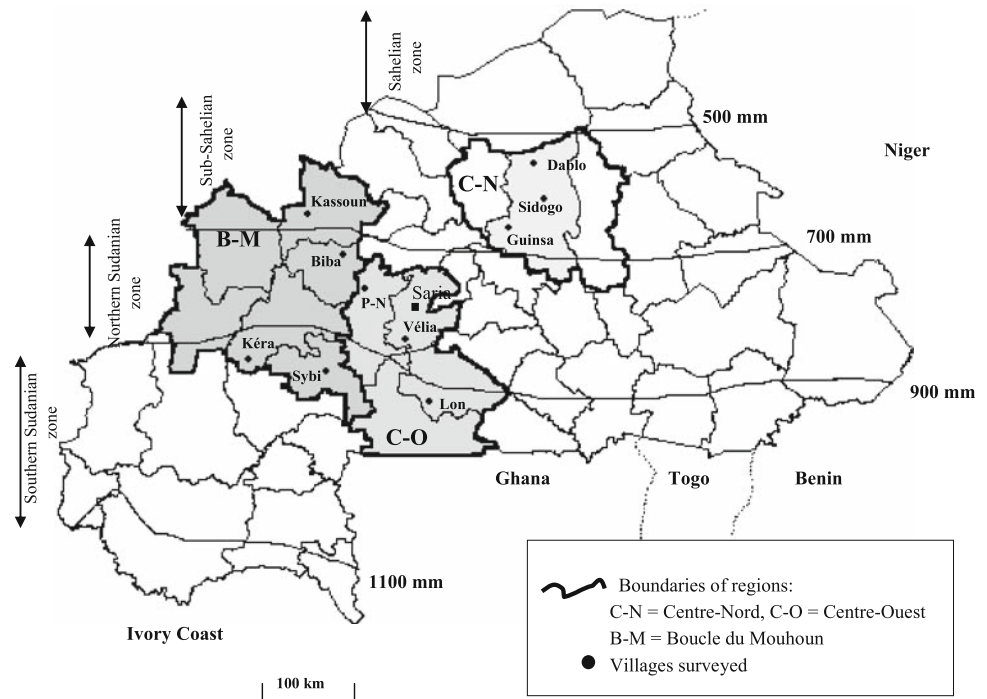
Here, we present the results of an analysis of the diversity of 124 sorghum landraces from three regions of Burkina Faso (Boucle du Mouhoun, Centre-Ouest and Centre-Nord). Geo-referenced landraces were sampled and information was collected on cropping systems and on how each variety is generally used while agromorphological traits and hypervariable microsatellite markers were used for landrace descriptions. The aim was to identify and to characterise the main sorghum diversity structures in the study area, to draw up priorities for in situ conservation of sorghum landraces and to define breeding strategies that will accommodate increased yields, adaptation to heterogeneous environments and preservation of sorghum diversity in Burkina Faso.

## Materials and methods

### Sorghum landrace collection

Sorghum landraces were collected in 2003 and 2004 in three regions of Burkina Faso, i.e. Boucle du Mouhoun, Centre-Ouest and Centre-Nord (Fig. 1), according to the method described by Christinck et al. (2000). These regions span the following climatic zones: sub-Saharan (isohyets 500–700 mm), northern Sudanian (isohyets 700–900 mm), and southern Sudanian (isohyets 900–1,100 mm). Ten villages per region were surveyed. In each of these villages, one sample of each variety recognised as morphologically different by farmers during a meeting group (gathering 10–50 farmers according to village) was

**Fig. 1** Climatic zones of Burkina Faso (Guinko 1984), and geographical locations of the surveyed villages (territorial administration)



collected. Varieties with a different phenotype had different names except in rare cases. Each sample was provided by a single farmer. Samples consisted of a maximum of 25 panicles per variety supplied by the donating farmer. Otherwise, the number of available panicles was sampled, or 1 kg of seed was collected if threshing had already been carried out.

#### Sorghum racial and agromorphological characterisation

Ten of the 30 villages surveyed were chosen to represent the climatic and ethnic environmental diversity, for a total sample of 124 varieties (Table 1). Agromorphological characterisation of these varieties was conducted during the 2005 and 2006 rainy seasons at the INERA research station at Saria, where the mean rainfall level over the 1987–2006 periods was 831 mm. The varietal trial was repeated by two sowings on July 2 and 26 in 2005 and one sowing on July 6 in 2006.

The plant material was assessed using an alpha-lattice experimental design (Patterson and Williams 1976) with three repetitions, 16 blocks with 8 landrace varieties per repetition, while randomly including four control varieties (two caudatum varieties, i.e. IS 1686 and SSM 275, and two guinea gambicum varieties, i.e. S29 and Kapelga). For each variety, all plots included two 3 m long rows, with 80 cm between rows and 20 cm between planting holes in the row, for 32 planting holes per plot.

The plots were thinned to one plant per planting hole around 10 days after emergence. Planting holes in which

seeds had not germinated were resown with an easily identifiable variety to limit intra-plot environmental heterogeneity. Twenty-eight traits were measured on the plots or on five randomly chosen plants per plot. There were 17 qualitative traits: vigour at emergence (Ve), coleoptile colour (Cc), leaf anthocyanin pigmentation (Lap), panicle compactness (Pc), pedicellate spikelet length (Psl) and persistence (Psp), glume length (Gl) and opening (Go), awn (Aw), kernel shape (Ks), kernel rotation (Kr), glume colour (Gc), kernel colour (Kc), anthocyanin spots on kernels (Ask), glume adherence (Ga), seed coat or testa (Sc) and kernel vitreousness (Kv) scored according to the IBPGR scale (IBPGR/ICRISAT 1993). Eleven quantitative traits were measured: except for the duration from sowing to 50% heading (Dsh) and the photoperiod response coefficient (K) established on the plot, the plant height (Ph), leaf number (Ln), length (Ll) and width (Lw) of the third leaf under the panicle, number of effective tillers (Net), panicle length (Pl), panicle weight (Pw), harvested seed weight (Hsw) and 1,000-seed weight (1,000-Sw) were measured on five plants per plot. Finally, varieties were racially characterised according to the classification of Harlan and de Wet (1972).

#### DNA extraction and genotyping

Sorghum seeds were germinated in a greenhouse. For each of the 124 varieties targeted for agromorphological characterisation, DNA was extracted from leaves collected from one seedling (8–9 leaf stage, ~4 weeks old) according to

**Table 1** Characterisation of villages and varieties surveyed per village

Surveyed zones	Regions	Surveyed villages	Latitude	Ethnic groups that supplied the characterised varieties	Number of varieties collected per village	Age of varieties in the village	Botanical type found per village	Type of fields where varieties were cultivated
Sub-Saharan (500–700 mm)	Centre-Nord	Dablo	13°4	Mossi	12	(8a 4in)	gg, db, i	b+
	Centre-Nord	Guinsa	13°6	Mossi	15	(2a 13in)	gg, ma, i	b+
49 landraces	Centre-Nord	Sidogo	13°19	Mossi	14	(6a 8in)	gg, i	c+, b, m
	Boucle du Mouhoun	Kassoum	12°9	Samo	8	(2a 6in)	gg, ma	b+
Northern Sudanian (700–900 mm)	Boucle du Mouhoun	Biba	12°6	Samo and Peul	9	(2a 7in)	gg, i	b+, c
	Centre-Ouest	Velia	12°1	Mossi	14	(6a 8in)	gg, ma	m+, b
53 landraces	Centre-Ouest	Pouni-Nord	12°28	Lyélé	30	(3a 27in)	gg	b+, c, m
Southern Sudanian (900–1,100 mm)	Boucle du Mouhoun	Sybi	11°8	Lyélé, Mossi, Marka,	6	(0a 6in)	gg	b+, c
	Boucle du Mouhoun	Kéra	11°9	Bwaba and Mossi	10	(5a 5in)	gg, ma, b	b+, c
22 landraces	Centre-Ouest	Lon	11°5	Nuuni and Mossi	6	(1a 5in)	gg	b + , c, m

*a* ancestral varieties (grown for over 20 years in the village); a total of 35 varieties, *in* varieties introduced over the last 20 years preceding the survey; a total of 89 varieties, *gg* guinea gambicum, *ma* guinea margaritifera, *db* durra bicolor, *b* bicolor, *i* indeterminate, *c* compound, *b* bush, *m* mixed: sown in compound and bush fields, + the majority type in the village

the modified CTAB procedure (Barnaud et al. 2007). PCRs were performed in a 20 µl final volume containing 5 µl DNA (5 ng/µl), 0.2 µM reverse primer, 0.2 µM 5'-end-labelled  $\gamma$ [<sup>33</sup>P]ATP forward primer, 2 µl 10× buffer, 200 µM dNTPs and 0.1 U/µl Taq polymerase). Thirty-five amplification cycles were conducted, with an initial denaturation phase at 94°C (4 min), followed by a first series of 10 cycles with denaturation at 94°C (45 s), hybridization at TM + 5°C (1 min), with a reduction of 0.5°C per cycle, elongation at 72°C (1 min 30 s), and a second series of 25 cycles with denaturation at 94°C (45 s), TM (1 min), 72°C (1 min 30 s), and final elongation at 72°C for 4 min. The amplification products were then submitted to electrophoresis at 60 W in polyacrylamide denaturing gel at 5% concentration in migration buffer (TBE 1×). Amplification products of microsatellite pairs differing in product size were separated on the same gel by loading the lighter at time *t* and the heavier at time *t* + 15 min. The gels were dried and exposed to autoradiography films (LifeRay, XDA plus) for 48–72 h. Alleles were identified via three controls that were included in each gel. The controls were developed by the Generation Challenge Program, with each being a DNA mixture obtained from three or four varieties ([http://sat.cirad.fr/sat/sorghum\\_SSR\\_kit/](http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit/)). Twenty-nine microsatellite markers described and mapped (Brown et al. 1996; Taramino et al. 1997; Bhattaramakki et al. 2000; Kong et al. 2000; Schloss et al. 2002), or presented on the website [http://sat.cirad.fr/sat/sorghum\\_SSR\\_kit/](http://sat.cirad.fr/sat/sorghum_SSR_kit/) (gpsb markers developed by CIRAD and selected by the Generation Challenge Programme) were used for the genotyping (Table 2).

#### Statistical analysis of agromorphological data

The statistical analysis was conducted on data of the trials sown on 2 July in 2005 and 6 July in 2006. Variance estimations and tests of effects were carried out on quantitative traits using the REML method implemented in HPMIXED procedure of SAS software, version 9.2 TS2M0, according to the following linear hierarchical mixed model:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + c_{jk} + (\alpha c)_{ijk} + d_{jkl} + (\alpha d)_{ijkl} + f_{im} + g_{imn} + e_{ijklmn}$$

where Greek letters are for fixed effects and Latin letters are for random effects.  $\mu$  is the overall mean;  $\alpha_i$  is the effect of year *i*;  $\beta_j$  is the effect of zone *j*;  $(\alpha\beta)_{ij}$  is the year × zone interaction;  $c_{jk}$  is the effect of village *k* nested within zone *j*;  $(\alpha c)_{ijk}$  is its interaction with year *i*;  $d_{jkl}$  is the effect of variety *l* nested within village *k* within zone *j*;  $(\alpha d)_{ijkl}$  is its interaction with year *i*;  $f_{im}$  is the effect of replicate *m* in year *i*;  $g_{imn}$  is the effect of block *n* within this replicate; and  $e_{ijklmn}$  is the residual error.

This model was chosen in order to estimate the contribution of village origin to the variance of the variety effect, and also the contribution of year × village interaction to the total year × variety interaction.

The effective tillering variable (Net), which had a non-normal distribution, was not used in this analysis. Moreover, the coefficient of response to photoperiod (*K*), whose calculation involved the two trials sowed at two different dates in 2005, was also not used. For each variety, the *K* coefficient was computed as:

**Table 2** Microsatellite loci and genetic diversity parameters estimated from 29 loci

Locus	Number of microsatellite motif repetitions	Chromosome	Range of allele size in base pairs in present study	A	He
gpsb067	(GT) <sub>10</sub>	8	170–182	6	0.41
gpsb089	(TG) <sub>9</sub>	1	165–173	4	0.58
gpsb123	(AC) <sub>7+</sub> (GA) <sub>5</sub>	8	288–296	4	0.10
gpsb148	(TC) <sub>3</sub> + (CA) <sub>5</sub>	7	133–147	4	0.54
gpsb151	(CT) <sub>12</sub>	4	104–112	5	0.68
SbAGB02	(AG) <sub>35</sub>	7	096–116	4	0.06
Sb4-72 (Xgap72)	(AG) <sub>16</sub>	6	183–197	7	0.39
Sb5-206 (Xgap206)	(AC) <sub>13</sub> (AG) <sub>20</sub>	9	108–146	6	0.33
Sb6-84 (Xgap84)	(AG) <sub>14</sub>	2	181–199	6	0.33
Xcup02	(GCA) <sub>6</sub>	9	186–204	5	0.68
Xcup07	(CAA) <sub>8</sub>	10	251–269	7	0.67
Xcup11	(GCTA) <sub>4</sub>	3	165–172	2	0.12
Xcup14	(AG) <sub>10</sub>	3	211–233	7	0.37
Xcup61	(CAG) <sub>7</sub>	3	198–201	2	0.36
Xcup62	(GAA) <sub>6</sub>	1	190–193	2	0.02
Xcup63	(GGATGC) <sub>4</sub>	2	139–145	2	0.48
Xtxp10	(CT) <sub>14</sub>	9	133–153	4	0.07
Xtxp15	(TC) <sub>16</sub>	5	201–215	6	0.30
Xtxp40	(GGA) <sub>7</sub>	7	126–141	6	0.16
Xtxp57	(GT) <sub>21</sub>	6	223–249	7	0.59
Xtxp65	(ACC) <sub>4</sub> (CCA) <sub>3</sub> CG(CT) <sub>8</sub>	5	122–136	5	0.63
Xtxp114	(AGG) <sub>8</sub>	3	211–217	3	0.21
Xtxp136	(GCA) <sub>5</sub>	5	240–246	3	0.07
Xtxp145	(AG) <sub>22</sub>	6	206–214	4	0.46
Xtxp278	(TTG) <sub>12</sub>	7	243–252	3	0.29
Xtxp289	(CCT) <sub>16</sub> (AGG) <sub>6</sub>	9	263–275	4	0.19
Xtxp295	(TC) <sub>19</sub>	7	143–199	17	0.84
Xtxp320	(AAG) <sub>20</sub>	10	257–284	6	0.57
Xtxp339	(GGA) <sub>7</sub>	9	191–200	2	0.07

Chromosome is nomenclature of Kim et al. (2005)

A is number of alleles per locus, He is gene diversity

$$K = \frac{Dsh1 - Dsh2}{DatS2 - DatS1}$$

with *Dsh1* and *Dsh2* the mean duration in days from sowing to heading for the first and second sowing dates in 2005, respectively, and *DatS1* and *DatS2* the first and second 2005 sowing days in Julian days, where *K* is expected to range from 0 (no shortening of the vegetative phase observed when sowing was delayed when the days were shortest) and 1 (duration shortening equal to the sowing delay) (Traoré et al. 2000).

The nine quantitative variables of the variance analyses (*Dsh*, *Ph*, *Ln*, *Ll*, *Lw*, *Pl*, *Pw*, *Hsw*, 1,000-*Sw*) and one qualitative variable (*Kv*) selected after eliminating all non-Gaussian or categorical variables were used as input data for a hierarchical cluster analysis (HCA) (Benzecri 1984),

built on the basis of the Euclidian distance according to the aggregation criterion of Ward (1963). XL-STAT-PRO software (version 7.5 1995–2000) was used for this analysis (Fahmy 1999).

#### Statistical analysis of microsatellite data

Genetic Polymorphism was measured by the allelic diversity (*A*), the allelic richness (*R<sub>s</sub>*), which is an unbiased estimate of the number of alleles expected per locus irrespective of the sample size (El Mousadik and Petit 1996), the observed heterozygosity rate (*H<sub>o</sub>*) and the unbiased expected heterozygosity (Nei 1987) also named gene diversity (*He*). The genetic differentiation (*F<sub>ST</sub>*) between two variety groups was determined using the estimators of

Weir and Cockerham (1984). All of these parameters were calculated with FSTAT software (version 2.9.3) (Goudet 2001).  $R_s$  values and the expected heterozygosities were compared between groups using a Wilcoxon signed-rank test (Wilcoxon 1945).

A molecular variance analysis (AMOVA) was performed using Arlequin software (version 3.0) (Excoffier and Schneider 2005). Genetic dissimilarities were calculated using the simple matching index (Sokal and Michener 1958), which in turn was used for hierarchical classification using the Neighbour-joining method (Saitou and Nei 1987). Robustness was assessed by bootstraps (1,000 repetitions) using DARwin software, version 5.0.150 (Perrier and Jacquemoud-Collet 2006). A Mantel test (1967) was performed on genetic dissimilarity and geographical distance matrices to compare correlations between morphological and genetic structures.

## Results

### Sorghum varietal diversity in ten villages

From 6 to 30 local varieties were collected in the 10 surveyed villages (Table 1). Greater varietal diversity was noted in sub-Saharan and northern Sudanian zones with the least rainfall, with 12.3 and 17.7 varieties, respectively, collected per village as compared to the southern Sudanian zone where only 7.3 varieties were collected. The number of varieties was especially high in the village of Pouni-Nord (30 varieties).

White kernel varieties outnumbered all other varieties everywhere. They are mainly grown for use in the preparation of tô (staple food of rural inhabitants), but also to an increasing extent for malting. Red kernel varieties were grown on smaller areas, essentially to bridge gaps between harvests and for the preparation of dolo, a local highly popular beer that is served during traditional ceremonies. We also noted an overriding number of varieties that had been introduced by seed exchange between farmers from neighbour villages within the last 20 years preceding the collection (89 varieties), as compared to the ancestral varieties (35 varieties) that were mainly kept for traditional purposes (pharmacopoeia and ancient rites). From 43 to 67% of all varieties grown in the villages of Dablo, Kéra, Sidogo and Velia were ancestral varieties.

We noted that the same farming practices and types of varieties were used in each village. Sorghum was often intercropped with cowpeas [*Vigna unguiculata* (L.)] or millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.], and seldom with other crops. The different varieties grown were adapted to different cropping areas and soil types in relation to their

phenological features (compound plots and bush fields at different toposequence levels).

### Sorghum racial and agromorphological structures

The racial characterisation revealed that 94.4% of the 124 collected varieties belonged to the guinea race, 0.8% to the bicolor race, 0.8% to the durra-bicolor race and 4.0% could not be classified clearly (racially indeterminate form). Among the guinea landraces, 96.6% belonged to the gambicum type and 3.4% to the margaritifera type.

Most of the collected varieties had white kernels (74.2%), without testa (83.9%), and were vitreous (vitreousness score ranging from 1.5 to 3). The remaining varieties had orange (13.7%) and red kernels (12.1%). The length of the sowing-heading duration ranged from 58.6 to 85.5 days for materials from the sub-Saharan zone, from 68.2 to 86.1 days for those from the northern Sudanian zone, and from 72.0 to 93.7 days for those from the southern Sudanian zone. The zonal mean sowing-heading interval per zone increased significantly ( $P < 0.01$ ) over a north to south gradient (75.3, 79.1 and 85.4 days, respectively). Early varieties (sowing-heading interval  $\leq 76$  days), intermediate varieties (76–85 days) and late varieties (interval  $> 85$  days) represented 28.2, 58.9 and 12.9% of the material, respectively. Red kernel varieties were significantly ( $P < 0.01$ ) earlier (sowing-heading interval 73.8 days) than the white to orange kernel varieties (79.4 days), and the mean sowing-heading interval comparison test results indicated significant differences ( $P < 0.01$ ). 12.1% of the varieties were moderately photoperiod sensitive ( $0.4 \leq K \leq 0.5$ ), whereas 81.5% were highly sensitive ( $0.5 < K \leq 0.8$ ) and 6.4% were even more sensitive ( $0.8 < K \leq 1$ ).

Regarding the fixed effects, the type III tests performed on the nine quantitative variables revealed a highly significant year effect for all studied variables and less frequently a significant zone effect (Table 3). The interaction year  $\times$  zone was not significant except for the 1,000-Sw variable. With respect to the random effects, the variance of the village origin effect was always less than a third of that of the variety within village effect. The analog comparison between year  $\times$  village origin and year  $\times$  variety within village interactions was less stable, however, the latter again dominated except solely for Lw (Table 3).

The hierarchical cluster analysis (Fig. 2) identified five main variety groups, mainly distinguished by crop duration, plant height, 1,000-seed weight and kernel vitreousness traits. Group A included the late-maturing and tall varieties (7 varieties) with small and highly vitreous grain. Group E included the early-maturing and short varieties (17 varieties) with big grain and floury kernel structure.

**Table 3** Tests of the fixed effects and variance estimates of the random effects of the linear mixed model of 9 agronomorphological variables measured on all of the 128 sorghum varieties in Sarina (Burkina Faso) in 2005 and 2006

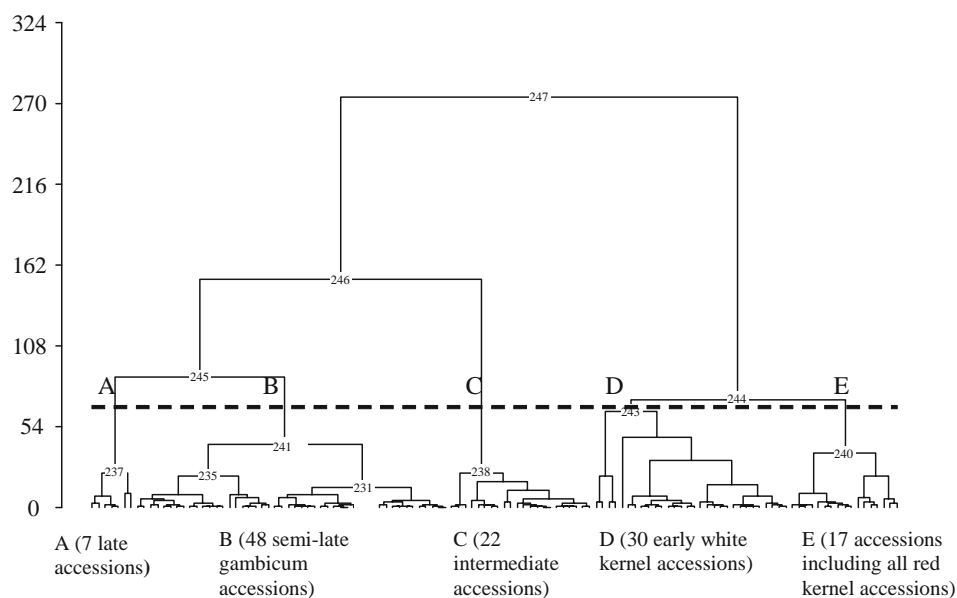
	DF	<i>F</i>									
		Dsh (days)	Ln	Hp (cm)	Ll (cm)	Lw (cm)	Pl (cm)	Pw (g)	Hsw (g)	1,000-Sw (g)	
<b>Fixed effects</b>											
Year	1	184.62**	7.14**	20.12**	47.21**	26.26**	4.70*	42.58**	39.89**	37.48**	
Zone	2	13.32**	5.83**	2.96	1.27	3.92*	0.13	7.02**	5.92**	2.27	
Zone × Year	2	2.41	1.93	2.93	2.91	1.06	2.29	1.28	0.26	5.89**	
		Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	Variance estimate	
<b>Random effects</b>											
Village (Zone)		3.04 (10.1)	0.238 (8.0)	122.1 (6.0)	1.02 (2.9)	0 (0)	2.93 (11.9)	28.9 (0.5)	42.8 (1.1)	0.480 (4.9)	
Village × Year (Zone)		0.12 (0.4)	0.065 (0.2)	41.4 (2.0)	1.92 (5.5)	0.020 (3.9)	0.32 (1.3)	27.1 (0.5)	52.3 (1.3)	0.018 (0.2)	
Variety [Village (Zone)]		23.33 (78.2)	1.006 (36.2)	369.9 (18.0)	9.33 (26.6)	0.126 (24.5)	12.36 (50.3)	769.8 (12.7)	574.9 (14.4)	7.200 (73.0)	
Variety × Year [Village(Zone)]		0.87 (2.9)	0.218 (0.7)	139.0 (6.8)	2.11 (6.0)	0 (0)	0.48 (2.0)	210.8 (3.5)	149.5 (3.8)	0.760 (7.7)	
Rep (Year)		0	0.042	21.4	0.02	0.001	0.43	0	0	0.002	
Block [Rep (Year)]		0.45	0.305	573.8	2.50	0.028	2.22	332.8	237.5	0.127	
Error		2.01	0.902	785.9	18.23	0.339	5.82	4,702.8	2,931.8	1.276	
Minimum		57.0	17.0	154.0	42.0	4.4	18.8	24.1	36.6	9.8	
Maximum		98.0	27.2	443.0	78.6	9.2	49.4	558.2	411.0	37.9	
Mean		78.7	22.2	308.2	63.0	6.6	32.2	243.6	182.7	21.9	

In bracket contribution as a percent of the estimated variance of the factors “village within zone”, “variety within village within zone” and their interaction with year (percentage in italic) regarding to total variance of the random effects

\*\* Highly significant effect of the factor at the 0.01  $\alpha$  level



**Fig. 2** Agromorphological structure of 124 sorghum landraces determined by hierarchical cluster analysis (HCA) according to Ward's algorithm



Group B (48 varieties), group C (22 varieties) and group D (30 varieties) were characterised by various intermediate classes of the discriminating variables. It is striking that group E contained all 15 red kernel varieties (guinea or indeterminate race) along with two white kernel gambicum varieties. The four margaritifera varieties were equally distributed across groups A and D according to their vegetative phase.

#### Genetic polymorphism

Genetic parameters based on 29 microsatellite loci were calculated for all 124 varieties (Table 2). Six loci were monomorphic at the 95% threshold, i.e. gpsb123, SbAGB02, Xcup62, Xtxp10, Xtxp136 and Xtxp339. The Xtxp40 locus had a supposed high frequency null allele (11 varieties showed no alleles at this locus, despite the genotyping repetitions) likely because of an absence of amplification due to mutations in flanking regions (Stachel et al. 2000). Thus, the six monomorphic loci and the locus Xtxp40 were excluded from the final analysis of population structure with the DARwin software.

With all 29 loci taken into account, total number of alleles detected reached 143 with 2–17 alleles per locus with a mean number 4.9 alleles per locus. The allelic richness  $R_s$  ranged from 1.1 to 5.5 per locus and 1.8 to 2.5 per village (Table 4). The Dablo, Kéra and Guinsa varieties showed the highest allelic richness and the Pouni-Nord varieties showed the lowest allelic richness. All Wilcoxon tests confirmed the reduced allelic richness in Pouni-Nord and the higher allelic richness in Dablo.

**Table 4** Genetic diversity and differentiation parameters according to different factors

	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>R<sub>s</sub></i>	<i>H<sub>o</sub></i>	<i>H<sub>e</sub></i>	<i>F<sub>ST</sub></i>
Villages	124					0.06*
Dablo	12	3.0	2.5	0.04	0.38	
Guinsa	15	3.0	2.4	0.05	0.36	
Sidogo	14	2.8	2.2	0.11	0.35	
Kassoum	8	2.2	2.1	0.06	0.36	
Biba	9	2.1	2.0	0.02	0.29	
Velia	14	2.6	2.2	0.07	0.35	
Pouni-Nord	30	2.4	1.8	0.09	0.23	
Sybi	6	2.0	2.0	0.04	0.33	
Kéra	10	2.8	2.5	0.04	0.40	
Lon	6	1.9	1.8	0.12	0.27	
Climatic zones	124					0.04*
Sub-Saharan zone	49	4.1	3.7	0.06	0.38	
Northern Sudanian zone	53	3.9	3.3	0.07	0.35	
Southern Sudanian zone	22	2.1	2.1	0.06	0.23	
Origins	124					0.01
Ancestral	35	3.8	3.7	0.06	0.38	
Recent	89	4.2	3.5	0.07	0.34	
Kernel types	124					0.08*
White	91	4.2	3.0	0.06	0.33	
Orange	17	2.8	2.8	0.10	0.33	
Red	16	3.1	3.1	0.06	0.35	
All	124	4.9	2.3	0.06	0.37	

*N* number of varieties, *A* mean number of alleles per locus, *R<sub>s</sub>* allelic richness, *H<sub>o</sub>* observed heterozygosity, *H<sub>e</sub>* expected heterozygosity or gene diversity, *F<sub>ST</sub>* genetic differentiation among groups

\* Significant at  $P < 0.05$

The total gene diversity ( $He$ ) for overall population reached 0.37 but showed different values among the villages ( $0.23 \leq He \leq 0.40$ ) (Table 4). It was higher in the sub-Saharan zone (0.38) than in the northern (0.35) and southern Sudanian (0.23) zones.

### Genetic structure

The total genetic differentiation between villages was low but significant ( $F_{ST} = 0.06$ ,  $P < 0.05$ , with a confidence interval of 0.037–0.086). When the  $F_{ST}$  values were assessed by pairs of villages, only Pouni-Nord was significantly different from the other villages, with  $F_{ST}$  values ranging from 0.07 to 0.16, but this result should be considered with caution due to the marked differences in the number of varieties per village.

The genetic structure between rainfall zones was also low ( $F_{ST} = 0.04$ ) but significant, with a confidence interval of 0.016–0.069. The pairwise  $F_{ST}$  values showed lower differentiation between the sub-Saharan and northern Sudanian zones ( $F_{ST} = 0.02$ ) than between the two more contrasted southern Sudanian and sub-Saharan zones ( $F_{ST} = 0.10$ ). Moreover, no structuring was noted between ancestral varieties and introduced varieties ( $F_{ST} = 0.01$ ).

Genetic differentiation was highest and significant between varietal types with different kernel colours ( $F_{ST} = 0.08$ ,  $P < 0.05$ , with a confidence interval of 0.043–0.113). Genetic differentiation was not significant between white kernel varieties and orange kernel varieties ( $F_{ST} = 0.02$ ). However, these two groups differed significantly from red kernel varieties ( $0.10 \leq F_{ST} \leq 0.13$ ). The Xtxp145 and gpsb067 loci markedly differentiated the red kernel varieties from the other varieties ( $F_{ST} = 0.22$  and 0.35, respectively).

The molecular variance analysis indicated that 4.5% of the genetic variability could be explained by differences between rainfall zones, 5.8% by differences between villages in the same zone, and 89.7% by differences between varieties within the same village.

The Neighbour-joining tree based on genetic dissimilarities measured using SSR marker allelic data across 22 loci revealed three groups of varieties (Fig. 3). The first and second groups included individuals that all belonged to the botanical type guinea gambicum. 77% of the varieties collected from the village of Pouni-Nord were in group 1 and they represented 40% of all varieties of this group. The third group included all the varieties which are not gambicum. It also included the red varieties (gambicum or indeterminate race) for the most part and some white kernel gambicum varieties.

Figure 3 also compared the three groups determined based on genetic dissimilarities with the five groups derived from the morphological trait classification. All red

kernel varieties of phenotype group E were in genetic group 3. The results of the Mantel correlation test carried out on genetic and agromorphological dissimilarity matrices were significant ( $r = 0.45$ ,  $P < 0.01$ ).

### Discussion

#### Sorghum diversity within villages

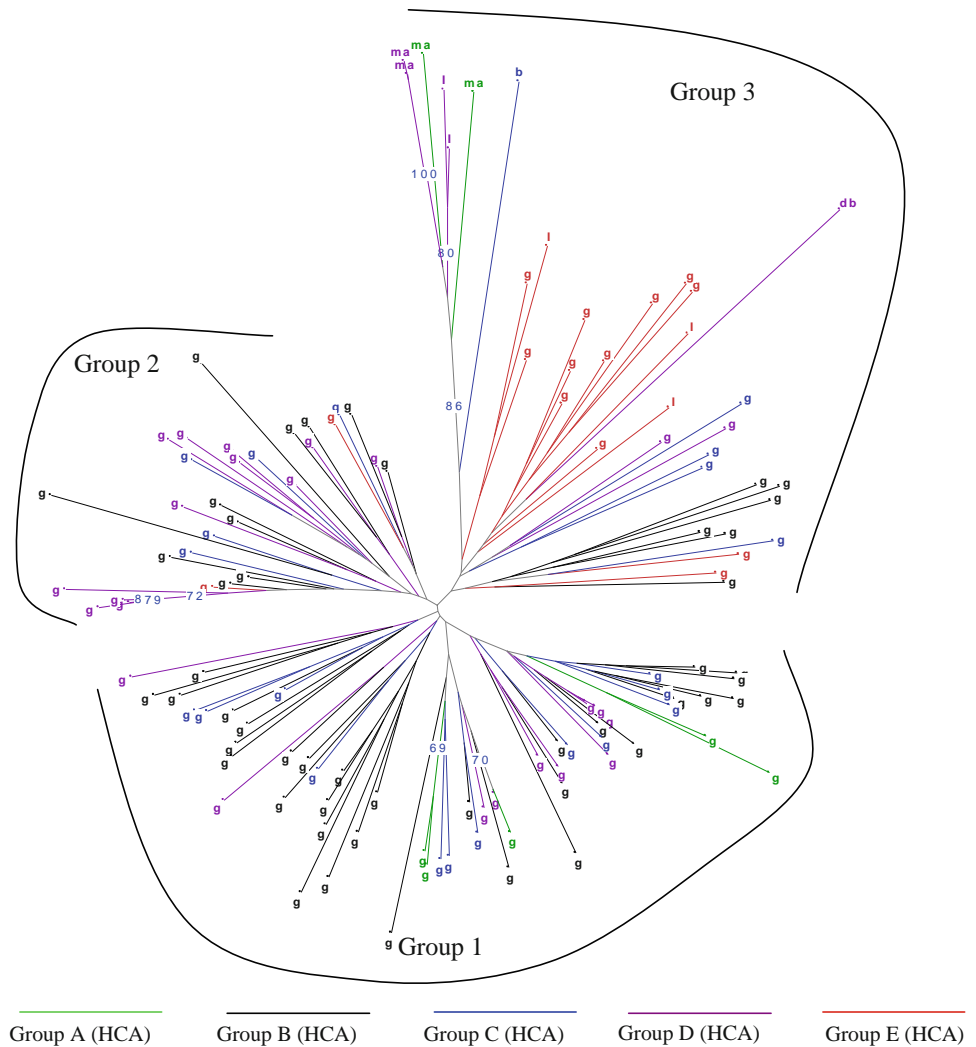
It was found that farmers belonging to the same village in Burkina Faso cultivate a broad range of sorghum varieties in order to address a high diversity of cropping environments as well as to minimise risks and optimise harvesting. This strategy is clearly illustrated by the fact that red kernel sorghum types (earlier) are cropped in compound plots while white kernel varieties (later) are cropped in bush fields. Many sorghum varieties are grown for beer brewing, usually for traditional secular animistic purposes, as is also the practise in several other West African countries (Barnaud et al. 2007). Surveys carried out during sorghum collection highlighted the importance of traditional beliefs, such as the need to maintain some varieties cultivated by family relatives to honour their memory. Seed is still, by and large, stored in traditional ways on farms. Tradition is, therefore, an important factor with respect to preserving sorghum genetic diversity.

#### Sorghum agromorphological diversity

The racial composition of sorghum varieties collected in our survey confirmed the dominance of the guinea race of the gambicum type in Burkina Faso, as already been noted by Zongo (1991). In other neighbouring countries of Nigeria and Chad, however, this racial composition differs, with the guinea race representing only 40.2 and 7.0%, respectively, of all cultivated varieties (Yagoua 1994). This dominance of the guinea race in Burkina Faso could be explained by biogeographical factors. Burkina Faso is a centre of diversification of the guinea race that is well adapted to subhumid climatic conditions. Indeed, it is the only botanical race found in the southern Sudanian zone which has the highest rainfall level in Burkina Faso.

In the agromorphological structure analysis, red kernel guinea varieties clearly differed from the other guinea varieties (Fig. 2). On average, they were earlier (73.8 days) than white or orange kernel sorghum varieties (79.4 days). Moreover, the red kernel guinea varieties were found to be flourier and less photoperiod sensitive. This difference between red and white kernel sorghum varieties has already been pointed out by Barro-Kondombo et al. (2008) in a study on a larger sample of varieties from Burkina Faso. This difference is the main factor responsible for the

**Fig. 3** Neighbour-joining tree based on data for 22 polymorphic SSR loci among 124 sorghum landraces using the simple matching genetic dissimilarity index and comparison with HCA groups. The racial origin is noted under each point: *g* (guinea gambicum), *m* (guinea margaritifera), *b* (bicolor), *db* (durra bicolor), *I* (indeterminate). Group 1: light colour kernel gambicum accessions encompassing the majority of the varieties from Pouni-Nord village. Group 2: light colour kernel gambicum accessions. Group 3: margaritifera, bicolor, durra-bicolor and red kernel accessions (gambicum or indeterminate race) and some white kernel gambicum accessions



agromorphological variability structure of sorghum varieties in Burkina Faso, with botanical classification being a secondary factor.

From a varietal standpoint, the sowing-heading interval length and 1,000-seed weight were the most important traits. These traits are highly heritable and can be readily selected. They also seemed to be the most associated with climatic and crop system differences. According to previous findings (Folliard et al. 2004; Clerget et al. 2007), the sowing-heading interval, which accounts for the photoperiod sensitivity trait, should be considered the main criterion for adaptation of a sorghum variety to its cropping zone in Burkina Faso.

Finally, the *F* tests indicated a significant year effect for all agromorphological traits (Table 3). Not surprisingly, this highlights a variety response to environmental condition. Of particular interest was the result regarding the two random factors “village within zone” and “variety within village within zone”. The constant predominant contribution of the latter over the former in regard to variance of

random effects clearly suggests that the range of variety diversity in a given climatic zone is more important within villages than between villages. This was quite noticeable with three variables: sowing-heading interval length, panicle length and 1,000-seed weight. These traits are of considerable importance to the village farmers when it comes to differentiating the varieties.

#### Sorghum diversity and genetic structure

Caution is needed when comparing the genetic diversity revealed by microsatellite markers in our study with that reported by other authors because of the different analysis tools used, as well as the size and racial composition of the samples.

Considering only genetic studies conducted with microsatellite markers, the genetic diversity parameters estimated in this study ( $A = 4.9$  alleles per locus,  $He = 0.37$ ) were similar to those estimated by Folkertsma et al. (2005) on a sample of guinea sorghum varieties from

various regions worldwide. They were slightly lower than those estimated for southern African sorghum varieties (Uptmoor et al. 2003), and much lower than those estimated for Eritrean sorghum landraces (Ghebru et al. 2002) and those estimated by Deu et al. (2008) for sorghum varieties from Niger at the country scale with 27 common SSRs, i.e. countries where sorghum racial diversity is greater than in Burkina Faso. Sorghum genetic diversity seems to be associated with the botanical diversity. It is lower in Burkina Faso than in other countries or regions that have greater botanical diversity, but it clearly represents much of the genetic diversity within the botanical race guinea, confirming that Burkina Faso is biogeographically positioned at the centre of guinea sorghum diversity in West Africa (Harlan 1975; Zongo et al. 2005).

Sorghum varieties from the sub-Saharan zone had higher genetic diversity than those of the two other climatic zones with higher rainfall and they seemed to be more differentiated (Table 4). Four non-exclusive explanations could be put forward: (1) in dry areas, genetic diversity contributes more to the resilience of cropping systems than in areas with higher rainfall, especially since there are few agricultural alternatives to sorghum and millet cropping; (2) the main factors in the reduction of genetic diversity are clearly most associated with modifications in cropping systems than with recurring drought periods. This trend was also noted by Kouressy et al. (2003) in Mali, where varietal erosion was found to be associated with the extension of cotton grown in rotations with maize in the Sudanian zone; (3) the cultural importance (ancestral rites) and popularity of traditional practices (social beliefs and pharmacopoeia associated with sorghum) are more prevalent in the Centre Nord region; and (4) there has been an increase in seed programmes coordinated by government services or NGOs in the Sahelian regions promoting varieties which are different from traditional varieties.

Genetic differentiation between climatic zones was still found to be low (0.04) (Table 4). This should be considered in relation to the common historical origin of the guinea gene pool and also likely to the high gene flows promoted by migrations of human populations (especially the Mossi) seeking more fertile land. None of the villages surveyed had a mono-ethnic structure. Moreover, seed purchases in local markets, seed exchanges in sometimes geographically wide-ranging family networks or between farmers involved in transregional extension programmes are relatively common.

A similar explanation could thus be put forward on the lack of genetic differentiation between ancestral and recent varieties (0.01). This result seems to indicate that the two types of material belonged to the same gene pool, and the introduced varieties were certainly only the result of the turnover of local varieties between villages and their

mixing due to the natural allogamy of guinea sorghum landraces, with rates that may be around 20% (Ollitrault et al. 1997).

Genetic differentiation between villages was low. The molecular variance analysis results indicated the genetic variability could only partially be explained by the climatic zone factor (4.5%) and the village within the same climatic zone factor (5.8%), whereas the variety in the same village was the main explanatory factor (89.7%). Genetic diversity within a locality thus seemed to be associated with the observed agromorphological diversity in relation with the range of different uses, cropping systems and the soil-climate variability of the specific area. Few sorghum genetic diversity studies have been conducted on a local scale (Barnaud et al. 2007). It would therefore be essential to gain further insight into the local evolutionary factors involved in sorghum genetic diversity, especially the intra-varietal diversity. Already our results have highlighted that diversity on a village scale may be representative of the diversity on a much broader scale, i.e. regional. However, the village of Pouni-Nord differed in terms of the number of varieties present with agromorphological and genetic traits which differed substantially from varieties of other villages, even those within the same climatic zone, as also shown by their assembly in group 1 in Fig. 3. Several hypotheses could explain the observed structuring trend: (1) the composition of the Pouni-Nord varieties panel differs highly from the composition of the other villages, both in terms of varieties from the genetic group 1 (77 vs. 31% in average) and red kernel varieties (3 vs. 15% in average); (2) Lyélé is by far the main ethnic group in the village and it is socioculturally isolated. Apart from marital ties, this population is not very open to exchanges and there is no inter-village emigration apart from some outmigration to large towns.

Finally, kernel colour was found to be the main genetic differentiation factor, with a significant  $F_{ST}$  of 0.08. Red kernel sorghum varieties grown for beer brewing, which were clearly identified by a morphological classification group (group E in Fig. 2), were all in the same genetic group and differed quite markedly from other sorghum varieties of the botanical race guinea gambicum (Fig. 3). They contributed to the significant positive correlation that was established in the Mantel test between the agromorphological and genetic diversity. Red sorghum varieties for beer brewing are generally earlier and grown on small areas, often in compound plots. Genetic drift and reproductive isolation are factors likely involved in their observed genetic diversity with respect to other guinea gambicum varieties. In addition, morphologically detectable first generation hybrids might be more easily counter-selected by farmers, thus bolstering the phenological barriers to inter-varietal introgression.

## Implications for sorghum conservation and improvement programmes

This study highlighted several interesting points that would be useful for sorghum breeding programmes in Burkina Faso. The geographical structure of local climatic adaptation traits (over a north–south gradient in Burkina Faso, as in other West African countries under a monsoon climate) and traits involved in yield components indicate that breeding programmes should be decentralised, with large-scale integration of local germplasm, which would ensure that the new breeding materials produced would be specifically adapted to local farming conditions.

The high morphological and genetic variability in sorghum varieties from Burkina Faso, in relation to the cropping system diversity, should be promoted in breeding programmes by developing different populations with a broad genetic base. This will preserve the diversity and help to develop new genetic recombinations to meet the needs of a changing range of adaptations and uses. Finally, the characterisation results highlighting farmers' preferences for anthocyanic varieties (98.4% of the collected material) should be taken into account to facilitate the adoption of new cultivars. This concern could also be integrated in participative sorghum breeding initiatives that have now been underway for some years in Burkina Faso (vom Brocke et al. 2008).

Our results indicated that red kernel sorghum varieties for beer brewing are genetically and agromorphologically distinct entities that should be the focus of specific preservation initiatives. These varieties are a good example of the relationship between traditional uses, cropping systems and specific biological features that may be noted in several other traditional agricultural systems in sub-Saharan Africa. Sorghum conservation programmes should thus integrate social and cultural components, rather than being just based on abiotic environmental indicators.

Considering the limited contribution of the “village within zone” factor to the pattern of agromorphological diversity and the low genetic differentiation between villages, it appears that sorghum diversity within villages could be representative of diversity on a regional scale without any significant loss. Therefore, varieties collected in a thorough manner from only a limited number of villages could be representative of the cultivated sorghum diversity in Burkina Faso. Moreover, a network of local observatories (involving a limited number of villages selected in different geographical, climatic and ethnolinguistic zones) would be the best strategy for monitoring the evolution of sorghum genetic diversity in situ in Burkina Faso.

**Acknowledgments** This work was supported by Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM). We thank the various people who participated in the 2003 and 2004 sampling and specifically farmers who shared their varieties and knowledge. We thank Lauriane Rouan for the statistical treatment of the agromorphological data through the SAS software and Anthony Mc Gowan for editing the English of the final draft manuscript. We lastly thank André Charrier for his critical review of the manuscript.

## References

- Appa Rao S, Prasada RF, Mengesha MH, Gopal-Reddy V (1996) Morphological diversity in sorghum germplasm from India. *Genet Resour Crop Evol* 43:559–567
- Barnaud A, Deu M, Garine E, McKey D, Joly HI (2007) Local genetic diversity of sorghum in a village in northern Cameroon: structure and dynamics of landraces. *Theor Appl Genet* 114:237–248
- Barro-Kondombo C, vom Brocke K, Chantreau J, Sagnard F, Zongo JD (2008) Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Nord. *Cah Agric* 17:107–113
- Benzecri JP (1984) *L'analyse des données*, 4th edn. Université Paris VI, Dunod
- Bhatramakki D, Dong J, Chhabra AK, Hart GE (2000) An integrated SSR and RFLP linkage map of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Genome* 43:988–1002
- Brown MS, Hopkins MS, Mitchell SE, Senior ML, Wang TY, Duncan RR, 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 SB (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, pp 3–26
- Casa MA, Mitchell SE, Hamblin HS, Sun H, Bowers JE, Paterson AH, Aquadro CF, Kresovich S (2005) Diversity and selection in sorghum: simultaneous analyses using simple sequence repeats. *Theor Appl Genet* 111:23–30
- Christinck A, vom Brocke K, Kshirsagar KG, Weltzien E, Bramel-Cox PJ (2000) Participatory methods for collecting germplasm: experiences with farmers in Rajasthan, India. *Genet Resour Crop Evol* 121:1–9
- Clerget B, Rattunde HFW, Dagnoko S, Chantreau J (2007) An easy way to assess photoperiod sensitivity in sorghum: relationships of the vegetative-phase duration and photoperiod sensitivity. *J SAT Agric Res* 3(1). [http://www.icrisat.org/journal/Sorghum\\_Millet\\_other\\_Cereals3.htm](http://www.icrisat.org/journal/Sorghum_Millet_other_Cereals3.htm)
- Cui YX, Xu GW, Magill CW, Schertz KF, Hart GE (1995) RFLP based assay of *Sorghum bicolor* (L.) Moench genetic diversity. *Theor Appl Genet* 90:787–796
- de Oliveira AC, Richter T, Bennetzen JL (1996) Regional and racial specificities in sorghum germplasm assessed with DNA markers. *Genome* 39:579–587
- Deu M, Rattunde F, Chantreau J (2006) A global view of genetic diversity in cultivated sorghum using a core collection. *Genome* 49:168–180
- Deu M, Sagnard F, Chantreau J, Calatayud C, Hérault D, Mariac C, Pham J, Vigouroux Y, Kapran I, Traoré PS, Mamadou A, Gérard B, Ndjéunga J, Bezançon G (2008) Niger-wide assessment of in situ sorghum genetic diversity with microsatellites markers. *Theor Appl Genet* 116:903–913
- 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, Lefèbvre 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
- El Mousadik A, Petit RJ (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 LGL, Schneider S (2005) Arlequin ver. 3.0: an integrated software package for population genetics data analysis. *Evol Bioinform Online* 1:47–50
- Fahmy T (1999) XLSTAT-PRO. Paris, France
- Folkertsma RF, Rattunde HFW, Chandra S, Soma Raju G, Hash CT (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 PCS, Vaksman M, Kouressy M (2004) Modeling of sorghum response to photoperiod: a threshold–hyperbolic approach. *Field Crops Res* 89:59–70
- Ghebru B, Schmidt RJ, Bennetzen JL (2002) Genetic diversity of Eritrean sorghum landraces assessed with simple sequence repeat (SSR) markers. *Theor Appl Genet* 105:229–236
- Goudet J (2001) FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3). <http://www.unil.ch/popgen/softwares/fstat.htm>
- Grenier C, Bramel PJ, Dahlberg JA, El-Ahmadi A, Mahmoud M, Peterson GC, Rosenow DT, Ejeta G (2004) Sorghums of the Sudan: analysis of regional diversity and distribution. *Genet Resour Crop Evol* 51:489–500
- Guinko S (1984). Végétation de la Haute-Volta. Phd Thesis, Université Bordeaux III, France
- Harlan JR (1975) Crops and man. American Society of Agronomy, Madison
- Harlan JR, de Wet MJM (1972) A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci* 12:172–176
- 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
- Kim J-S, Klein PE, Klein RR, Price HJ, Mullet JE, Stelly DM (2005) Chromosome identification and nomenclature of *Sorghum bicolor*. *Genetics* 169:955–965
- Kong L, Dong J, Hart GE (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, pp 42–50
- Mantel N (1967) The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Res* 27:209–220
- 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 (2006) Données sur les productions nationales. <http://agristat.bf.tripod.com>
- Nei M (1987) Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press, New York
- 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. Phd Thesis, Université Paris XI, France
- Ollitrault P, Noyer JL, Chantereau J, Glaszmann JC (1997) Structure génétique et dynamique des variétés traditionnelles de sorgho au Burkina Faso. In: Begic A (ed) Gestion des Ressources Génétiques des Plantes en Afrique des Savanes. IER-BRG Solagral, Bamako, Mali, pp 231–240
- Patterson HD, Williams ER (1976) A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika* 63:83–92
- Perrier X, Jacquemoud-Collet JP (2006) DARwin software. <http://darwin.cirad.fr/darwin>
- Saitou N, Nei M (1987) The Neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol Biol Evol* 4:406–425
- Schloss SJ, Mitchell SE, White GM, Kukatla R, Bowers JE, Paterson AH, 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 JD (1936) The cultivated races of Sorghum. Adlard, London, UK
- Sokal RR, Michener CD (1958) A statistical method for evolving systematic relationships. *Univ Kansas Sci Bull* 38:1409–1438
- 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
- Taramino G, Tarchini R, Ferrario S, Lee M, Pe ME (1997) Characterization and mapping of simple sequence repeats (SSRs) in *Sorghum bicolor*. *Theor Appl Genet* 95:66–72
- Teshome A, Baum BR, Fahrig L, Torrance JK, Arnason TJ, Lambert JD (1997) Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landrace variation and classification in north Shewa and South Welo, Ethiopia. *Euphytica* 97:255–263
- Traoré SB, Reyniers F, Vaksman M, Kone B, Sidibé A, Yoroté A, Yattara K, Kouressy M (2000) Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse* 11:227–237
- 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
- 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. *Cah Agric* 17:146–153
- Ward JH (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Stat Assoc* 58:236–244
- Weir BS, Cockerham CC (1984) Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution* 38:1358–1370
- Wendorf F, Close AE, Schild R, Wasylkova K, Housley RA, Harlan JR, 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
- Yagoua ND (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, pp 44–59
- Zongo JD (1991) Ressources génétiques des sorghos (*Sorghum bicolor* L. Moench) du Burkina Faso: évaluation agromorphologique et génétique. Phd Thesis, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire
- Zongo JD, Gouyon PH, Sarr A, Sandmeier M (2005) Genetic diversity and phylogenetic relations among Sahelian sorghum accessions. *Genet Resour Crop Evol* 52:869–878



L'essentiel de l'information  
scientifique et médicale

[www.jle.com](http://www.jle.com)

Le sommaire de ce numéro

[http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro\\_biotech/agr/sommaire.md?type=text.html](http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/agr/sommaire.md?type=text.html)



**Montrouge, le 27/05/2008**

J. Chantereau

**Vous trouverez ci-après le tiré à part de votre article en format électronique (pdf) :**

Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest

**paru dans**

Agriculture, 2007, Volume 17, Numéro 2

**John Libbey Eurotext**

*Ce tiré à part numérique vous est délivré pour votre propre usage et ne peut être transmis à des tiers qu'à des fins de recherches personnelles ou scientifiques. En aucun cas, il ne doit faire l'objet d'une distribution ou d'une utilisation promotionnelle, commerciale ou publicitaire.*

*Tous droits de reproduction, d'adaptation, de traduction et de diffusion réservés pour tous pays.*

© John Libbey Eurotext, 2007

## Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest

Clarisse Pulchérie  
Barro-Kondombo<sup>1</sup>  
Kirsten Vom Brocke<sup>2</sup>  
Jacques Chantereau<sup>2</sup>  
Fabrice Sagnard<sup>3</sup>  
Jean-Didier Zongo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut de l'environnement  
et des recherches agricoles (Inera),  
Centre régional de recherches  
environnementales et agricoles (CRREA)  
du Centre,  
Saria BP 10,  
Koudougou  
Burkina Faso  
<clarissebk@yahoo.fr>

<sup>2</sup> Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique  
pour le développement (Cirad),  
Unité propre de recherche (UPR)  
« Agrobiodiversité des plantes de savanes »,  
Avenue Agropolis,  
TA A-08/01,  
34398 Montpellier cedex 5  
France  
<kirsten.vom\_brocke@cirad.fr>  
<jacques.chantereau@cirad.fr>

<sup>3</sup> Centre de coopération internationale  
en recherche agronomique  
pour le développement (Cirad),  
Unité propre de recherche (UPR) « Gestion  
des ressources génétiques et dynamiques  
sociales »,  
Campus CNRS/CEFE,  
1919, route de Mende,  
34293 Montpellier cedex 5  
France  
<fabrice.sagnard@cirad.fr>

<sup>4</sup> Unité de formation et de recherche  
en sciences de la vie et de la terre (UFR/SVT),  
Université de Ouagadougou,  
03 BP 7021,  
Ouagadougou 03  
Burkina Faso  
<zongojd@univ-ouaga.bf>

### Résumé

La classification raciale de 190 variétés locales de sorgho prospectées dans deux régions du Burkina Faso et évaluées pour 27 descripteurs agromorphologiques fait valoir une prépondérance de *Guinea* (96,8 % des variétés collectées) et une faible présence de *Durra* (1,6 %) et *Caudatum* (0,5 %) tandis que le reste (1,1 %) des variétés locales est resté non classé. Parmi les sorghos *Guinea*, il y a une majorité de *gambicum* et quelques *margaritifera* qui présentent une large gamme de précocité. Globalement, les variétés montrent une grande diversité phénotypique faiblement attribuable aux facteurs géographiques (village ou zone climatique d'origine). Le cycle est un important caractère de différenciation variétale et aussi de certains types de sorgho, dont ceux à grains rouges généralement plus précoces que les sorghos à grains blancs. Deux analyses multivariées révèlent une structuration de la diversité phénotypique des variétés, expliquée, dans un premier cas, par le facteur racial et, dans le second cas, par le cycle et le type de grain avec des variétés de cycles précoces et intermédiaires, productives, présentant des grains plutôt gros et farineux se différenciant de variétés de cycles longs et très longs avec des grains de taille moyenne et à bonne vitrosité. Dans le sous-ensemble des variétés précoces et intermédiaires, les sorghos à grains rouges autres que *margaritifera* constituent un groupe distinct. Les variétés à grains blancs sont moins homogènes agromorphologiquement.

**Mots clés :** agrobiodiversité ; Burkina Faso ; conservation des ressources ; sorgho ; variété indigène.

**Thèmes :** productions végétales ; ressources naturelles et environnement.

### Abstract

#### Phenotypic variability of local sorghum cultivars/varieties of two regions in Burkina Faso: The Boucle du Mouhoun and the Centre West

The racial classification of 190 sorghum landraces collected in two regions of Burkina Faso and characterized for 27 agro-morphological traits shows the preponderance of *Guinea* varieties (96.8%). *Durra* and *Caudatum* varieties are rare, respectively 1.6% and 0.5%, whereas 1.1% of the varieties were not classified. Among the *Guinea* sorghums, the *gambicum* are more frequent than the *margaritifera* which present an important variability in cycle duration. The phenotypic diversity of the landraces is high and poorly explained by geographic factors (villages or climatic zones). The differences between varieties are mainly based on vegetative duration and red-grained sorghums are generally earlier than white-grained sorghums. An initial multivariate analysis of data shows stratification based on racial aspects. In a second analysis, plant cycle and grain type characteristics discriminate two clusters: a group of early and medium cycle sorghum varieties with rather big and floury grain and a group of late cycle sorghum varieties with lower grain weight and vitreous grains. The red sorghums other than the *margaritifera* form a specific cluster. In contrast, white sorghums show less homogeneity.

**Key words:** Burkina Faso; agrobiodiversity; sorghum grain; land varieties; resource conservation.

**Subjects:** natural resources and environment; vegetal productions.

Tirés à part : J. Chantereau



La préservation des ressources phylogénétiques des espèces cultivées nécessite une connaissance approfondie de leur diversité à des fins de meilleure gestion et valorisation par l'amélioration des plantes. Au Burkina Faso, le sorgho est la première céréale alimentaire. Il occupe 48 % des superficies céréalières et sa production est presque entièrement assurée par les variétés locales dominées par la race *Guinea* dont la variabilité est très importante (Zongo, 1991 ; Ollitrault *et al.*, 1997). La baisse de la pluviométrie (Some, 1989), créant une inadéquation entre la durée du cycle des variétés et la durée de la saison des pluies, semble constituer un facteur d'érosion génétique. De plus, le développement de la culture cotonnière ces vingt dernières années conduit les producteurs à cultiver préférentiellement le maïs en rotation après le coton en raison de sa meilleure réponse à l'engrais par rapport au sorgho (Belem *et al.*, 2001). De ce fait, le sorgho est de plus en plus relégué aux sols marginaux dans les régions cotonnières entraînant la disparition de certaines variétés, en particulier celles à cycle long ou sensibles à divers stress. Tous ces facteurs compromettent l'importance et la richesse variétale de cette céréale au Burkina Faso.

Pour préserver et valoriser la diversité existante, des prospections ont été réali-

sées en 2003 dans trois régions agricoles du Burkina Faso : le Centre-Nord (région de climat subsahélien), la Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest (régions de climat nord- et sud-soudanien). Ces régions sont représentatives de la diversité des environnements agro-pédoclimatiques de la culture du sorgho au Burkina Faso. Toutefois, la culture du coton est prépondérante dans la Boucle du Mouhoun où les sols sont plus fertiles. Nous rapportons ici les résultats de l'étude agromorphologique réalisée sur les variétés prospectées dans les deux dernières régions, avec comme objectifs l'évaluation de la diversité de la collection et l'identification des principaux caractères qui la structurent.

prospection sont situées dans trois zones climatiques : la zone 1 (Z1) qui relève du climat subsahélien entre les isohyètes 500 et 700 mm, la zone 2 (Z2) du climat nord-soudanien entre les isohyètes 700 et 900 mm et la zone 3 (Z3) du climat sud-soudanien entre les isohyètes 900 et 1 100 mm (Guinko, 1984). Les sols en majorité peu fertiles sont de type ferrugineux tropicaux (fragilisés par l'érosion éolienne et hydrique) avec des ondulations peu marquées, présentant des sols plus profonds et argileux en bas de toposéquence où sont cultivées des variétés de sorgho plus tardives qu'en haut ou au milieu de toposéquence. Relativement à ce zonage, 17 variétés proviennent de la zone 1, 131 de la zone 2 et 42 de la zone 3).

## Matériel et méthode

### Matériel végétal

L'étude a été conduite sur 190 variétés locales prospectées en 2003, dont 81 variétés issues de 10 villages de la région de la Boucle du Mouhoun et 109 variétés provenant de 10 villages de la région du Centre-Ouest (*figure 1* et *tableau 1*) (Vom Brocke et Simpore, 2004). Les deux régions agricoles de la

### Site et dispositif expérimental

La classification raciale selon Harlan et de Wet (1972) et la caractérisation phénotypique du matériel collecté ont été réalisées à la station de recherche de Saria (2° 09' W, 12° 16' N) située entre les isohyètes 700 et 900 mm.

Avec l'ajout de trois témoins communs aux expérimentations, le dispositif expérimental a été un Alpha Lattice (Patterson et Williams, 1976) à quatre répétitions, soit 12 blocs de 7 entrées par répétition pour le matériel de la Boucle du Mou-

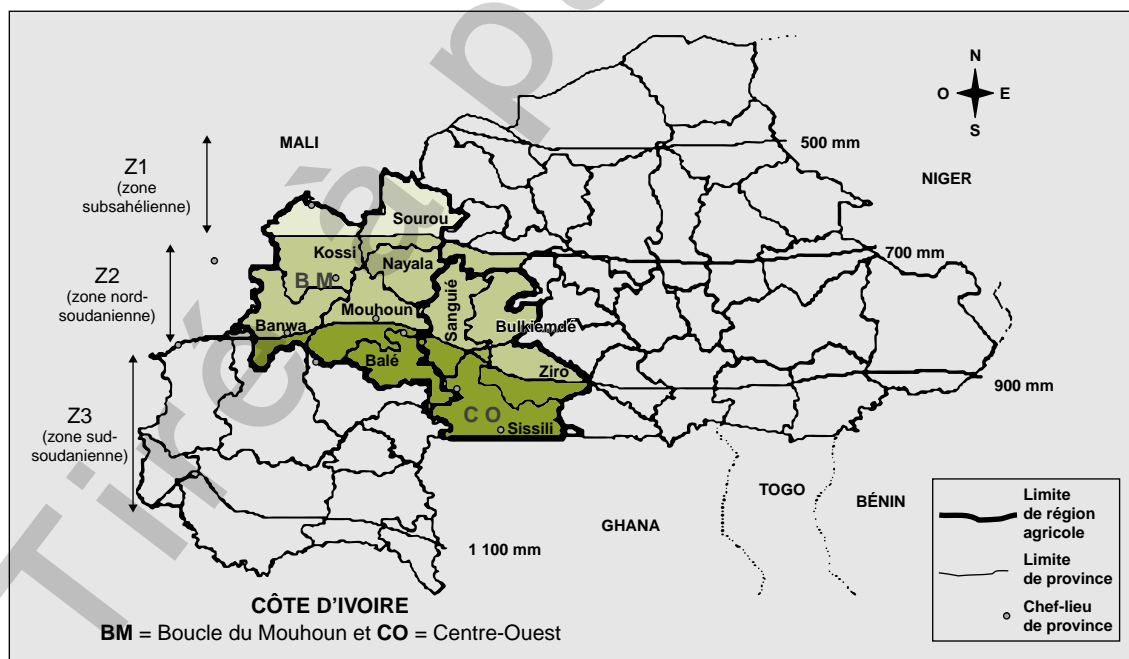


Figure 1. Provinces du Burkina Faso (administration territoriale) et zones climatiques (Guinko, 1984) concernées par l'étude.

Figure 1. Burkina Faso provinces and climatic zones covered by the sorghum collect (Guinko, 1984).

**Tableau 1. Origine géographique des variétés locales de sorgho collectées en 2003 au Burkina Faso.**

Table 1. Geographic origin of collected sorghum varieties in 2003 in Burkina Faso.

Région agricole	Province	Village	Nombre de variétés	Zone climatique
Boucle du Mouhoun	Sourou	Kiembara	10	Z1 (500-700 mm)
	Sourou	Kassoum	7	Z1
	Kossi	Bomborokouy	9	Z2 (700-900 mm)
	Nayala	Biba	10	Z2
	Mouhoun	Tchériba	9	Z2
	Banwa	Founa	9	Z2
	Banwa	Yasso	8	Z2
	Banwa	Bena	9	Z3 (900-1 100 mm)
	Balé	Sybi	6	Z3
	Mouhoun	Kiera	4	Z3
Centre Ouest	Boulkiemdé	Velia	14	Z2
	Boulkiemdé	Baonghin	3	Z2
	Boulkiemdé	Bologo	6	Z2
	Sanguié			
	Sanguié	Tiogo	22	Z2
	Sanguié	Kya	14	Z2
	Ziro	Pouni-nord	27	Z2
		Tékourou		
	Ziro	Lon	8	Z3
	Sissili	Bieha	6	Z3
Sissili	Bourra	4	Z3	
		5	Z3	

houn et 14 blocs de 8 entrées pour celui du Centre-Ouest. Pour chaque entrée, deux lignes de 4 m ont été semées en poquets le 14 juin 2003 avec un espacement de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets sur la ligne. Un démarriage à 2 plants par poquet a été effectué une dizaine de jours après la levée. L'essai a été conduit dans des conditions d'alimentation hydrique satisfaisante avec une pluviométrie utile de 646 mm et totale de 808 mm.

### Variables observées

Vingt-sept variables, dont 13 quantitatives, ont permis de décrire les variétés. Les variables quantitatives suivantes ont été mesurées : durée du cycle semis épiaison (Cse), hauteur de la plante mesurée à partir de sa tige principale (Hp), longueur des entre-nœuds (Len), diamètre de tige (Dt), nombre de tiges utiles (Tu), longueur de panicule (Lpa), longueur (Lf) et largeur (Laf) de la troisième feuille sous-paniculaire, nombre d'étages de ramification paniculaire (Ner), les poids de panicules (Ppa), de grains (Pgr), de 1 000 grains (P1g). La vitrosité du grain (Vit) a été notée selon l'échelle Internatio-

nal Board for Plant Genetic Resources, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (1993). Les mesures ont été réalisées sur cinq plantes aléatoirement choisies par entrée à l'exception des mesures de rendement (Ppa, Pgr) faites sur la parcelle et du poids de 1 000 grains (P1g) fait sur un prélèvement de battage de parcelle. Les caractères qualitatifs étaient essentiellement des descripteurs de l'épillet : longueur (Lep) et persistance (Pep) de l'épillet pédicellé,

longueur (Lgl) et ouverture (Ogl) des glumes, compacité de la panicule (Cpa), forme du grain (Fg), rotation du grain (Rgr). D'autres caractères ont été aussi observés : anthocyane du feuillage (Ant), couleur des glumes (Cgl), couleur du grain (Cgr), taches d'anthocyane sur le grain (Tg), aristation des glumelles (Ar), adhérence des glumes (Ad) et couche brune du grain (Cb).

Des analyses univariées ont été réalisées avec le logiciel PLABSTAT version 3A-pre (Utz, 2005). Une analyse en composantes principales (ACP) suivie d'une classification hiérarchique ascendante (CHA), d'une analyse des correspondances multiples (ACM) et d'une analyse factorielle discriminante (AFD) a été réalisée avec le logiciel XL-STAT-PRO version 7.5 1995-2000 (Fahmy, 1999). Pour l'ACM, les variables quantitatives ont été transformées en modalités. Seize variables peu informatives ou présentant des données manquantes ou avec une distribution anormale ont été traitées comme variables supplémentaires ou éliminées. Onze variables (Cse, Lpa, Hp, Vit, Lgl, Rgr, Lep, Pep, Ogl, Cpa, P1g) éclatées en 32 modalités ont servi à l'analyse finale.

### Résultats

Les 190 variétés locales appartiennent à trois races botaniques avec 96,8 % attribuées à la race *Guinea* (dont 95,1 % de *gambicum* et 4,9 % de *margaritifera*), 1,6 % à la race *Durra* et 0,5 % à la race *Caudatum* probablement issues de la recherche (1,1 % étant des intermédiaires difficiles à classer). Par ailleurs, 96,8 % des variétés locales sont anthocyanées, 79,5 % sont à glumes noires et 67,9 % sont

**Tableau 2. Région Centre-Ouest : paramètres statistiques pour les six variables quantitatives intégralement notées.**

Table 2. Centre-West region: statistical parameters of the studied quantitative variables.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	F variété	CV (%)
Cse (jour)	67	112	89,0	71,3**	1,8
Hp (cm)	170	510	401,8	7,4**	6,7
Lpa (cm)	14,9	47,2	32,5	10,9**	6,5
Ner	7	17	12,0	1,5**	13,1
P1g (g)	12,1	36,4	24,2	12,5**	5,6
Vit	1	3	3,1	16,2**	10,8

Cse : cycle semis épiaison ; hp : hauteur de la plante mesurée à partir de sa tige principale ; lpa : longueur de panicule ; Ner : nombre d'étages de ramification paniculaire ; P1g : poids de 1 000 grains ; Vit : vitrosité du grain ; CV : coefficient de variation ; \*\* effet significatif au seuil de 1 %.

à grains blancs, et enfin 80,0 % des variétés ont un grain de vitrosité très bonne à bonne (1,5-3).

Les neuf variétés *Guinea margaritifera* ont des cycles végétatifs très variables (68,1-106,6 jours semis-épiaison) allant de la grande précocité à la grande tardivité. Par ailleurs, dans le matériel autre que *margaritifera*, les variétés à grains rouges sont plutôt précoces avec en moyenne un cycle semis-épiaison de 84,1 jours et les variétés à grains blancs sont plus tardives avec un cycle moyen de 91,8 jours (figure 2).

Les analyses de variances ont été réalisées avec les 6 variables quantitatives (Cse, Hp, Lpa, Ner, P1g, Vit) qui ont pu être intégralement notées.

L'examen des histogrammes de fréquences a montré une distribution normale, avec une amplitude de variation importante. Par région, l'effet variétal est statistiquement significatif pour tous les caractères mesurés (tableaux 2 et 3). La différence entre les variétés est encore significative pour le caractère durée de cycle (Cse) à l'échelle de la zone climatique et à l'échelle du village (tableaux 4 et 5). À l'opposé, le caractère Ner est le moins souvent significatif.

Le facteur variété explique 94,6 % de la variabilité du cycle, 80,2 % du poids moyen d'un grain et 75,2 % de la vitrosité. Les facteurs village (20 villages) et zone climatique (3 zones) ne sont que faiblement explicatifs, sauf pour le cycle dont la détermination leur est un peu plus attribuable : respectivement pour 17,3 et 8,2 %.

Les corrélations entre les variables sont en général faibles. La plus forte valeur de corrélation positive est trouvée entre le cycle et la hauteur de plante ( $r = 0,71$ ). Le cycle est négativement corrélé à la vitrosité ( $r = -0,48$ ) et au poids de 1 000 grains ( $r = -0,33$ ) rendant peut-être compte d'un mauvais remplissage des grains lié à des déficits hydriques pour les variétés tardives. Ces résultats vont dans le sens de ceux de Zongo (1991) et Chantereau (1993).

Les deux premiers axes de l'ACM sur les variables Cse, Lpa, Hp, Vit, Lgl, Rgr, Lep, Pep, Ogl, Cpa, P1g expliquent 37,8 % de la variance totale. Le premier axe factoriel associe principalement des modalités du développement végétatif et discrimine les sorghos de cycle précoce, de taille réduite sans rotation du grain, aux sorghos de cycles longs, de haute taille présentant une rotation moyenne à forte du grain. Le second axe est essentiellement constitué

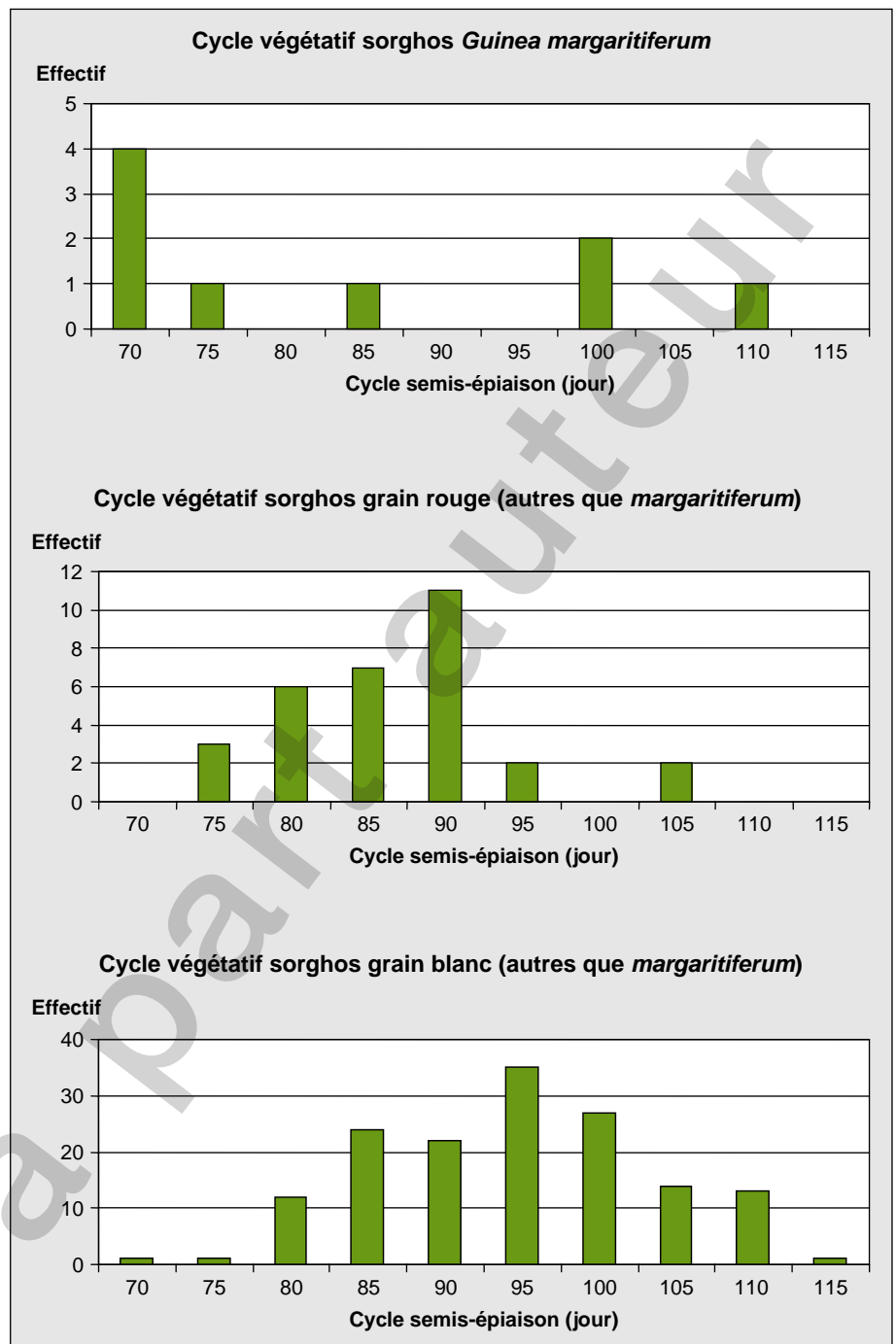


Figure 2. Histogrammes des cycles végétatifs des différents types de variétés.

Figure 2. Histogram for the vegetative cycles of different kinds of varieties.

par des modalités de caractères descriptifs de l'inflorescence.

La représentation des variétés locales dans le plan 1 x 2 de l'ACM met en évidence une structuration à caractère racial en différenciant trois grands groupes raciaux : les *Guinea gambicum*, les *Guinea margaritifera* et les *Durra*

(figure 3). Les variétés indéterminées se rattachent plutôt au groupe des *Guinea gambicum*. Cette analyse confirme que les *Guinea margaritifera* sont bien distincts des autres sorghos.

Une classification hiérarchique des 190 variétés, réalisée avec le critère d'agrégation de Ward à partir des valeurs

**Tableau 3. Boucle de Mouhoun : paramètres statistiques pour les six variables quantitatives intégralement notées.**

Table 3. Boucle du Mouhoun: statistical parameters of the studied quantitative variables.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	F variété	CV (%)
Cse (jour)	68	108	90,7	153,7**	1,7
Hp (cm)	192	496	392,0	12,2**	6,1
Lpa (cm)	21	52	36,7	14,3**	5,8
Ner	7	18	12,1	1,7**	12,0
P1g (g)	13,4	39,1	22,2	25,3**	6,4
Vit	1	5	3,1	5,8**	14,2

Cse : cycle semis épiaison ; hp : hauteur de la plante mesurée à partir de sa tige principale ; lpa : longueur de panicule ; Ner : nombre d'étages de ramification paniculaire ; P1g : poids de 1 000 grains ; Vit : vitrosité du grain ; CV : coefficient de variation ; \*\* effet significatif au seuil de 1 %.

**Tableau 4. Mesure de l'effet variété au niveau « zones pluviométriques » pour les six variables intégralement notées.**

Table 4. Performance (for the quantitative traits) of varieties pooled by rainfall zone and statistical significance of variety factor within zone.

Zone	Effectif	Cse (jour)	Hp (cm)	Lpa (cm)	Ner	P1g (g)	Vit
I	17	87,5**	387,9**	37,9**	12,1	22,2**	3,1
II	131	88,7**	398,1**	34,1**	12,0	23,1**	3,1**
III	42	95,3	412,2**	34,2**	12,2	22,0**	3,0**

Cse : cycle semis épiaison ; hp : hauteur de la plante mesurée à partir de sa tige principale ; lpa : longueur de panicule ; Ner : nombre d'étages de ramification paniculaire ; P1g : poids de 1 000 grains ; Vit : vitrosité du grain ; \*\* effet significatif au seuil de 1 %.

**Tableau 5. Mesure de l'effet variété au niveau « villages » pour les six variables intégralement notées.**

Table 5. Performance (for the quantitative traits) of varieties pooled by village and statistical significance of variety factor within village.

Village	Cse (jour)	Hp (cm)	Lpa (cm)	Ner	P1g (g)	Vit
Baonghin	81,67**	389,33**	33,94**	11,89**	22,3**	2,83**
Bena	98,11**	398,44	39,12	13,00	19,6**	2,67**
Biba	89,70**	345,55**	32,40**	11,80	22,7**	3,25**
Bieha	102,25**	434,17**	30,02**	11,25	20,5**	3,00**
Bologo	84,06**	391,22*	30,63**	11,33	26,3**	3,50**
Bomborokouy	86,33**	367,11**	36,29**	13,11	21,9**	2,94*
Boura	92,53**	410,40	31,91**	13,13	23,1*	3,10**
Founa	86,44**	344,42	35,74**	11,78	21,2**	3,61**
Kassoum	87,14**	399,57**	40,20**	12,14**	20,6**	3,07**
Kiembara	87,60**	339,80**	33,22**	12,50	23,6**	3,05
Kiera	100,25**	404,75	35,55	12,75	21,0**	2,75**
Kya	87,14**	403,50	32,97*	12,14	24,0	2,96**
Lon	95,67**	438,61**	32,96**	12,67	22,3**	3,00**
Pouni Nord	88,26**	409,23	31,98**	12,19	24,2**	2,81
Sybi	91,00**	312,83	28,98**	12,00**	23,2**	3,33**
Tchériba	92,89**	421,75	40,62**	11,89	23,7	2,94**
Tékourou	91,25**	409,54	33,98**	11,63	23,7**	3,19**
Tiogo	88,65**	385,47**	33,69**	11,76	23,1**	3,39**
Velia	89,57**	401,95*	33,08**	12,12	23,4**	3,50**
Yasso	99,50**	413,63	37,15	11,63	18,5**	3,00

Cse : cycle semis épiaison ; hp : hauteur de la plante mesurée à partir de sa tige principale ; lpa : longueur de panicule ; Ner : nombre d'étages de ramification paniculaire ; P1g : poids de 1 000 grains ; Vit : vitrosité du grain ; \*\* effet variétal significatif au seuil  $\alpha$  de 5 %.

moyennes ajustées des 6 variables de l'analyse de variance, produit le dendrogramme de la figure 4. Un premier niveau de troncature sépare les variétés en deux ensembles de précocité différente avec respectivement 70 et 120 individus (ensembles I et II). Un découpage plus fin identifie 5 groupes (tableau 6). L'ensemble I est composé principalement des *margaritifera* très précoces (groupe 1), d'un groupe de *gambicum* à grains blancs (groupe 2) et d'un groupe de *gambicum* à grains rouges (groupe 3) moyennement précoces. En plus de sa précocité, cet ensemble I se caractérise par le regroupement de sorghos à grains de faible vitrosité avec des rendements élevés en grains. L'ensemble II réunit des *Guinea* caractérisés par un cycle long (groupe 4) ou un cycle très long (groupe 5). Cet ensemble II se distingue aussi par des grains plutôt petits et vitreux et de fortes valeurs de hauteur de plante et de longueur paniculaire.

La caractérisation de ces groupes par l'AFD indique une probabilité associée aux valeurs de F hautement significative au seuil alpha de 5 %. La recherche des variables les plus discriminantes montre que les groupes sont établis, par ordre d'importance, sur la base de la durée du cycle, la hauteur de plante, le poids moyen d'un grain, la vitrosité et la longueur des panicules.

## Discussion

La diversité raciale des sorghos cultivés dans la région Centre-Ouest et la Boucle du Mouhoun au Burkina Faso est faible, avec un important fonds génétique *Guinea* (96,8 %) dont une majorité de *gambicum* et quelques *margaritifera*. La composition raciale de notre échantillon est comparable à celui de Zongo (1991) qui rapporte une proportion de 93,1 % de *Guinea* sur l'ensemble du Burkina Faso. Cette présence dominante des *Guinea* s'explique par la situation biogéographique du pays, en relation avec l'histoire de la domestication du sorgho, au coeur du centre de diversité de la race *Guinea*, par une forme d'homogénéité culturelle concernant les pratiques agricoles et en partie par le facteur climatique : les *Guinea* sont adaptés aux zones les mieux arrosées comme dans la zone 3 de l'étude où seuls les *Guinea* sont cultivés. Il en va différemment dans d'autres pays de la sous-région. Ainsi, les *Guinea* ne repré-

**Tableau 6. Caractéristiques des groupes issus de la classification hiérarchique ascendante (CHA).**

Table 6. Characterisation of the groups obtained from AHC.

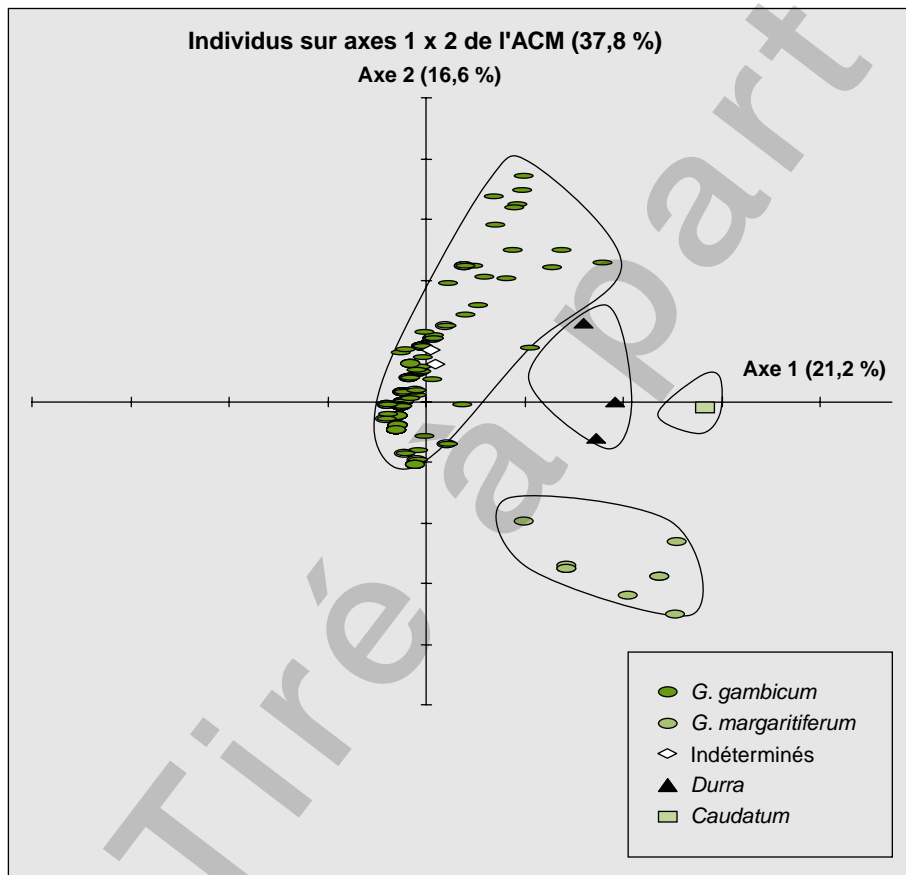
Ensemble	Groupe	Effectif	Race (%)			Couleur grain (%)		Cycle semis épiaison (jour)	Hauteur de plante (cm)	Longueur panicule (cm)	Poids 1 000 grains (g)	Vitrosité du grain
			Gg*	Gm**	Autres	Blanc	Rouge					
I	1	6	0	83,3	16,7	83,3	16,7	69,8	273,8	33,7	15,0	3,5
	2	37	86,5	0	13,5	97,3	2,7	82,7	371,2	30,7	25,4	3,0
	3	27	100	0	0	3,7	96,3	82,3	374,7	32,7	25,1	4,7
		<b>(total 70)</b>										
II	4	89	98,990,3	1,1	0	96,6	3,4	91,8	419,6	36,0	23,0	2,8
	5	31		9,7	0	87,1	12,9	104,5	426,5	36,3	18,4	2,7
		<b>(total 120)</b>										

\* Gg : *Guinea gambicum* ; \*\* Gm : *Guinea margaritifera*.  
Les valeurs affectées aux variables quantitatives sont des moyennes.

sentent que 40,2 et 7,0 % des variétés cultivées au Nigeria et Tchad respectivement (Yagoua, 1994).  
Le fait que le facteur village n'explique que faiblement la variabilité agromorphologique traduit l'existence d'une diversité

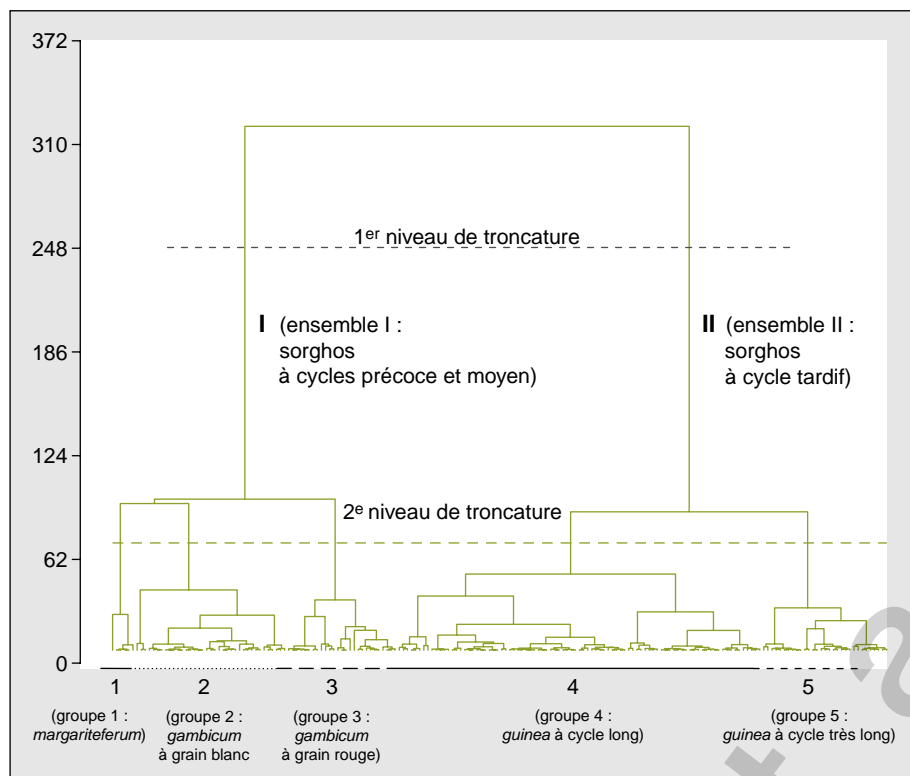
importante des sorghos à l'intérieur d'un village, sans doute en réponse à la diversité des sols, des systèmes de culture et d'usages commune aux villages visités (par exemple, sorghos à bière, sorghos de case, sorghos de bas-fonds). La durée de

cycle qui est une variable significativement associée aux zones climatiques serait le principal critère d'adaptation d'une variété au climat local. Néanmoins, il existe dans chaque village, un panel variétal présentant une large gamme de cycles en relation avec la complexité environnementale et des besoins traditionnels (coutumes, pharmacopée). Enfin, des échanges importants de semences entre villages de mêmes ou différentes zones climatiques concernées par notre étude existent pour des raisons de liens familiaux ou ethniques, par simple désir de tester de nouvelles variétés ou par insuffisance de stock semencier (Delaunay, 2005). Il y a sans doute là aussi une explication de la diversité variétale existant au niveau villageois.  
La diversité phénotypique des sorghos est structurée par le facteur racial. Les sorghos *Guinea margaritifera* se différencient des sorghos *gambicum* et confirment une nouvelle fois leur originalité (Degremont, 1992 ; Deu *et al.*, 2006). En revanche, la structuration de la diversité révélée par l'analyse multivariée des seuls caractères quantitatifs est expliquée essentiellement par la durée de cycle et le type de grain. Un groupe original de sorghos est constitué par les variétés à grains rouges, autres que *Guinea margaritifera*, qui se retrouvent pratiquement au sein d'un même ensemble (groupe 3) sur la base de leur précocité, de la grosseur et de la faible vitrosité de leurs grains. Ils ont également une utilisation particulière (sorghos à bière). Le groupe des sorghos à grains blancs est moins homogène, notamment par rapport à la durée de cycle. Les différences de phénologie et de pression de sélection sont sans doute à l'origine de cette structuration en



**Figure 3.** Structuration raciale du plan défini par les axes 1 et 2 de l'analyse des correspondances multiples (ACM).

**Figure 3.** Racial stratification of varieties on the first plane of MCA.  
La taille plus grande de certains points *gambicum* dénote une superposition de points.



**Figure 4.** Classification hiérarchique ascendante (CHA) des 190 variétés suivant le critère d'agrégation de Ward.

**Figure 4.** Agglomerative hierarchical classification (AHC) of 190 varieties according to Ward's aggregative criterium.

plusieurs ensembles entre lesquels les brassages génétiques semblent être limités. Chacun de ces groupes constitue donc une entité évolutive spécifique.

En termes de conservation des ressources génétiques, notre étude montre l'importance de l'implication paysanne à l'échelle villageoise dans la gestion de la diversité des sorghos au Burkina Faso et elle souligne le besoin d'accorder une attention particulière au groupe des sorghos à grains rouges utilisés traditionnellement pour la bière. L'utilisation de marqueurs moléculaires permettra une analyse plus fine des facteurs d'évolution de la diversité génétique et une utilisation mieux raisonnée du germoplasme local dans les programmes d'amélioration. L'enjeu est de maintenir et valoriser une diversité variétale et génétique originale maîtrisée par les agriculteurs, bien adaptée aux contraintes environnementales et capable de répondre à leur évolution. La culture du sorgho continuera alors à jouer son rôle dans la sécurisation et la diversifi-

cation de la production céréalière du pays. ■

#### Remerciements

Albert Barro, Dominique Compaoré, San-san Da, David Kambou, Gnissa Konaté, Grégoire Pale, Jacob Sanou, Jean-Baptiste Taonda (Inera, Burkina Faso), Bettina Hausmann (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, ICRISAT, Niger).

#### Références

Belem C, D'herbes JM, Beauval V. *Projet préservation de l'agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso*. Rapport de faisabilité. Paris : Fond français pour l'environnement mondial (FFEM) ; Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) ; Institut de l'environnement et des recherches agricoles (Inera) ; Institut d'économie rurale (IER), 2001.

Chantereau J. *Étude 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 (France), 1993.

Degremont I. *Évaluation de la diversité génétique et du comportement en croisement de sorghos [Sorghum bicolor (L.) Moench] de la race Guinea au moyen de marqueurs enzymatiques et morphologiques*. Thèse de doctorat, université Paris XI, Orsay (France), 1992.

Delaunay S. *L'importance des modes et des stratégies d'échange de semences dans les systèmes semenciers traditionnels de sorgho au Burkina Faso*. Stage d'initiation à la recherche. Esitpa-Cirad-Inera, 2005.

Deu M, Rattunde F, Chantereau J. A global view of genetic diversity in cultivated sorghums using a core collection. *Genome* 2006 ; 49 : 168-80.

Fahmy T. *XLSTAT-PRO*. Paris (France) : Addisonsoft, 1999.

Guinko S. *Végétation de la Haute-Volta*. Thèse de doctorat, université de Bordeaux III, 1984.

Harlan JR, de Wet JMJ. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci* 1972 ; 12 : 172-6.

International Board For Plant Genetic Resources (IBPGR), International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). *Descriptors for sorghum, [Sorghum bicolor (L.) Moench]*. Rome (Italie) ; Patancheru (India) : IBPGR ; ICRISAT, 1993.

Ollitrault P, Noyer JL, Chantereau J, Glaszmann JC. *Structure génétique et dynamique des variétés traditionnelles de sorgho au Burkina Faso*. Actes du colloque « Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes ». Bamako (Mali) : Institut d'économie rurale (IER) ; Bureau des ressources génétiques (BRG) ; Solagral, 1997.

Patterson HD, Williams ER. A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika* 1976 ; 63 : 83-92.

Somé L. *Diagnostic agroclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Étude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, mil, maïs*. Thèse de doctorat, université Montpellier STL (France), 1989.

Utz HF. *PLABSTAT (Version 3A-pre of 2005-08-16), a computer program for statistical analysis of plant breeding experiments*. Stuttgart (Germany) : Institute of Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics, University of Hohenheim, 2005.

Vom Brocke K, Simpore A. *Les sorghos du village. Rapport de collecte des variétés locales de sorgho dans 30 villages au Burkina Faso*. Ouagadougou : Institut de l'environnement et des recherches agricoles (Inera), 2004.

Yagoua ND. *Caractérisation du sorgho pluvial, [Sorghum bicolor (L.) Moench], de la zone soudanienne du Tchad*. Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho, 10-14 octobre 1994, Samanko (Mali). 1994.

Zongo JD. *Ressources génétiques des sorghos [Sorghum bicolor (L.) Moench] du Burkina Faso : évaluation agromorphologique et génétique*. Thèse de doctorat d'État, université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 1991.