

UNIVERSITE OUAGA I PROFESSEUR JOSEPH

KI-ZERBO

-----  
Ecole Doctorale  
Sciences et Technologies

-----  
Laboratoire Biosciences



N° d'ordre : 410

## Thèse Présentée

Par **GAPILI Naoura**

Pour obtenir le grade de

**Docteur de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO**

Option Sciences Biologiques Appliquées

Spécialité : Génétique et Amélioration des plantes

**ETUDE DE LA DIVERSITE GENETIQUE ET DU  
PHOTOPERIODISME D'ACCESSIONS DE SORGHO GRAINS  
[*Sorghum bicolor* (L.) Moench] DU BURKINA FASO**

Soutenue le 25 mars 2016 devant le jury composé de :

**Président** : Jean-Didier ZONGO, Professeur Titulaire, Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO (Burkina Faso) ;

**Membres** :- Irié Arsène ZORO BI, Professeur Titulaire, Université de Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire) ;

- Gérard ZOMBRE, Professeur Titulaire, Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO (Burkina Faso) ;

- Yacoubou BAKASSO, Professeur Titulaire, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) ;

- Jeanne ZOUNDJIHEKPON, Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin) ;

- Mahamadou SAWADOGO, Maître de Conférences, Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO, Directeur de thèse (Burkina Faso).

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	v
RESUME.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES .....	ix
LISTE DES ANNEXES .....	x
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I. GENERALITESUR LE SORGHO.....	3
1. BIOLOGIE ET ECOLOGIE DU SORGHO.....	3
1.1. Taxonomie .....	3
1.2. Origine et dispersion.....	5
1.3. Morphologie.....	6
1.4. Physiologie.....	8
1.4.1. Mode de reproduction.....	9
1.4.2. Photopériodisme, mécanisme induisant la floraison .....	9
1.5. Ecologie. ....	15
2. DIVERSITE GENETIQUE DES SORGHOS CULTIVES DU BURKINA FASO .....	16
2.1. Diversité agromorphologique .....	16
2.2. Diversité de réaction à la photopériode.....	17
2.3. Diversité moléculaire .....	18
CHAPITRE II. EVALUATION DE LA DIVERSITE AGROMORPHOLOGIQUE .....	20
INTRODUCTION .....	20
I. MATÉRIELS ET MÉTHODE.....	20
1.1. Matériel végétal .....	20
1.2. Site expérimental .....	21
1.3. Dispositif expérimental .....	22
1.4. Techniques culturales .....	22
1.5. Collecte des données .....	23
1.6. Analyse des données.....	25
II. RESULTATS .....	26

2.1.	Variation des variables qualitatives .....	26
2.2.	Evaluation des variables quantitatives .....	27
2.2.1.	Evaluation des performances des accessions .....	27
2.2.2.	Influence des facteurs zone agro-climatique, région géographique, coefficient du photopériodisme et race botanique sur la variation des caractères quantitatifs .....	31
2.2.3.	Relation entre les caractères .....	32
2.2.4.	Organisation de la variabilité .....	36
2.2.5.	Estimation des paramètres génétiques des sorghos du Burkina Faso .....	38
III.	DISCUSSION.....	40
	CONCLUSION PARTIELLE .....	43
	CHAPITRE III. CARACTERISATION DU PHOTOPERIODISME ET INFLUENCE DES DATES DE SEMIS SUR L'EXPRESSION DE CARACTERES.....	44
	INTRODUCTION.....	44
I.	MATERIELS ET METHODE.....	45
1.1.	Matériel végétal .....	45
1.2.	Site expérimental et opérations culturales.....	45
1.3.	Collecte des données .....	45
1.4.	Analyse des données.....	46
II.	RESULTATS .....	47
2.1.	Etude de la réponse à la photopériode.....	47
2.1.1.	Les valeurs moyennes et la sensibilité à la photopériode .....	47
2.1.2.	Variation du cycle entre les deux dates de semis .....	50
2.1.3.	Effets de la pluviométrie, de la température et de l'insolation dans la réponse photopériodique .....	50
2.1.4.	Variation du coefficient de photopériodisme.....	53
2.2.	Influence des dates de semis sur l'expression des caractères.....	54
2.2.1.	Influence de la date de semis sur le rendement.....	54
2.2.2.	Influence de la date de semis sur le tallage .....	55
2.2.3.	Influence de la date de semis sur le nombre d'entre-nœuds.....	56
2.2.4.	Influence de la date de semis sur la hauteur des plantes.....	57
III.	DISCUSSION.....	58
3.1.	Sensibilité à la photopériode des accessions du Burkina Faso .....	58

3.2. L'influence du photopériodisme sur les caractères.....	60
CONCLUSION PARTIELLE .....	62
CHAPITRE IV. CARACTERISATION MOLECULAIRE DES ECOTYPES de SORGHOS GRAINS A L'AIDE DE MARQUEURS MICROSATELLITES .....	63
INTRODUCTION.....	63
I. MATERIELS ET METHODE.....	64
1.1. Matériel végétal et marqueurs moléculaires utilisés .....	64
1.2. Méthodes.....	64
1.2.1. Extraction de l'ADN.....	64
1.2.2. Amplification PCR et révélation .....	65
1.3. Analyses statistiques des données moléculaires.....	65
1.3.1. Analyse de la diversité génétique intra-population.....	65
1.3.2. Analyse de la diversité génétique inter-population.....	67
II. RESULTATS .....	68
1.1. Diversité génétique des accessions de sorgho du Burkina Faso.....	68
1.2. Structuration de la diversité génétique des sorghos du Burkina Faso .....	70
1.2.1. Structuration en fonction des zones climatiques .....	70
1.2.2. Structuration en fonction des régions agro-écologique .....	70
1.2.3. Structuration en fonction des coefficients de photopériodisme.....	71
1.2.4. Structuration en fonction de la race botanique.....	71
1.2.5. Structuration de la diversité génétique de l'ensemble de la collection .....	72
III. DISCUSSION.....	77
CONCLUSION PARTIELLE .....	81
CONCLUSION GENERALE.....	82
ANNEXE.....	94

## DEDICACE

Je dédie ce mémoire de thèse à

Mes chers parents YADANG SEWORE et NAOURA DELI, qui ont été les premiers à croire en moi en m'inscrivant à l'école et pour le sens du respect du travail qu'ils m'ont inculqué.

## REMERCIEMENTS

Un travail de thèse est un fruit de dur labeur qui n'aurait jamais été possible sans une collaboration sincère entre plusieurs acteurs. Ce présent document ne fait pas exception car sa conception a été rendue possible grâce à la disponibilité dont ont fait montre un certain nombre de personnes que nous tenons à remercier.

Nous remercions très sincèrement notre Directeur de thèse M. Mahamadou SAWADOGO, Maître de Conférences en Génétique, Chef de l'Equipe Génétique et Amélioration des Plantes du Laboratoire Biosciences, de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO pour avoir accepté sans hésiter notre encadrement. Nous lui sommes très reconnaissant pour sa disponibilité, sa bienveillance, son soutien permanent, et l'intérêt constant qu'il a prêté au sujet de cette thèse.

Nous exprimons notre sincère reconnaissance à M. Jean-Didier ZONGO, Professeur Titulaire en génétique, promoteur de la présente thèse pour nous avoir initialement accueilli dans son unité de recherche, depuis le DEA et nous avoir permis de débiter cette thèse sous sa direction. Le goût de la recherche et celui des céréales sèches de l'Afrique que nous avons hérité, nous le lui dédions.

Nous remercions sincèrement M. Irié Arsène ZORO BI, Professeur Titulaire en Génétique et Amélioration des Plantes de l'Université de Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), M. Gérard ZOMBRE, Professeur Titulaire en Physiologie Végétale de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO (Burkina Faso) et M. Yacoubou BAKASSO, Professeur Titulaire en Génétique et Amélioration des Plantes de l'université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) pour leur contribution dans l'évaluation de ce travail en tant que rapporteur et membre de jury.

Nous adressons aussi nos remerciements à Mme Jeanne ZOUNDJIHEKPON, Maître de Conférences en Génétique et Amélioration des Plantes de l'Université d'Abomey-Calavi pour avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail, en tant que membre du jury.

Nous adressons nos sincères remerciements aux docteurs de l'équipe de Génétique et Amélioration des Plantes de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO auprès de qui nous avons réalisé l'essentiel de cette thèse. Merci au Dr Pauline BATIONO/KANDO pour sa collaboration sans faille, immense merci au Dr Romaric Kiswendsida NANEMA pour sa

confiance, sa sympathie et avec lui la collaboration fut des plus parfaites et sincères remerciements au Dr Ernest Renan TRAORE pour les échanges fructueux tout au long de la thèse. Nous remercions aussi notre complice de tout le temps, Dr Nerbewendé SAWADOGO, grâce à qui nous avons appris et maîtrisé les logiciels d'analyse des données moléculaires et pour sa contribution énorme dans la réalisation de cette thèse. Merci à Dr Zakaria KIEBRE et à Dr Baloua NEBIE, chercheur junior à l'ICRISAT Mali pour ses conseils et suggestions.

Nous remercions le Responsable du Laboratoire de Génétique et de Biotechnologie végétales du CREAM de l'INERA/Kamboinsé, M. Jérémy Tinga OUEDRAOGO, Maître de Recherche en Génétique, Dr Joseph BATIENO et toute l'équipe, pour leur esprit de collaboration lors de notre accueil au laboratoire pour nos analyses moléculaires. Notre reconnaissance va également à l'endroit de notre très cher ami Félicien Serge ZIDA, technicien dudit laboratoire pour son aide précieux lors des manipulations et sa disponibilité irréprochable.

Nous adressons également nos remerciements aux Doctorants de l'Equipe Génétique et Amélioration des Plantes de l'Université de Ouagadougou Hamed Mahamadi OUEDRAOGO, Boureima SAWADOGO et Mariam KIEBRE pour les précieuses aides lors de nos travaux de génotypage au laboratoire. Merci aussi à Hervé NANDKANGRE, Kouka Fidèle TIENDREBEOGO, Djakaridia TIAMA et Pèlega Hippolyte KIENTEGA pour la convivialité et les différents services que nous nous sommes rendus.

Nous remercions les responsables et chercheurs de l'ITRAD qui nous ont soutenus pendant ces longues années. Nous présentons nos reconnaissances du fond du cœur au Feu Dr IBET OUTHMAN Issa, ancien Directeur Général qui a accordé le financement pour la réalisation de cette thèse. Merci au Directeur Général DJONDANG Koye et au Directeur Scientifique Yassine DOUDOUA pour avoir soutenu ce financement jusqu'à la fin de la thèse. Nous remercions Djinodji REOUNGAL, chef de Programme IDVPV et DOYAM NODJASSE Amos, chercheur au programme GDRN pour leur contribution dans l'amendement du document et à Dr NAITORMBAIDE Michel, chef de centre et station de Bébédjia pour les conseils et suggestions.

Enfin, merci à nos sœurs TE-IABE, YANNE et SINGFA et frères IGNASSOU, GNELI et GABKIKI pour l'espoir que vous faites grandir en moi. Merci à tous les amis, TUBERKA Bongoro, DIADINGAR Doumroh Roland, BIMBAME Zoutenet et bien d'autres pour les moments de complicité que nous avons partagés, pendant la réalisation de ce travail.

## RESUME

Dans le cadre de la préservation des ressources génétiques du sorgho du Burkina Faso, une prospection a été réalisée entre 1984 et 1986 et a abouti à la collecte d'accessions conservées depuis ce temps dans le germoplasme de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO. Au regard des changements climatiques qui affectent davantage les milieux ruraux, il est observé une érosion marquée des ressources génétiques et une importante diminution de la productivité des variétés cultivées. Ainsi, il apparaît important d'évaluer la diversité génétique existante dans cette collection afin de créer de nouvelles variétés plus adaptées à ce changement. C'est ainsi que 120 accessions de sorgho grains de cette banque ont été évaluées sur le plan agromorphologique et photopériodique. De même, 64 d'entre elles ont été génotypées, afin de mesurer et structurer la diversité génétique pour son utilisation durable dans un programme d'amélioration variétale. Il ressort de cette étude que 77,5 % des accessions possèdent des grains blancs, 76,85 % sont à égrainage facile, 87,5 % sont aristées et 55,83 % ont des poils au niveau des glumes. L'héritabilité des caractères étudiés, montre que la part due au milieu, présente dans la variabilité totale est faible, ce qui est un atout pour une sélection de ces caractères. Toutes les accessions sont sensibles à la photopériode et ont réduit, lors d'un retard de semis de 30 jours, leur cycle autour de 4 h à 24 jours et plus de 80 % des accessions ont fleuri dans les 20 jours qui ont précédé la fin des pluies. L'initiation florale a débuté pendant la période où la durée du jour était autour de 10 h et les températures autour de 24 et 34 °C, respectivement pour le minimal et le maximal. La température interfère avec la photopériode pour induire la floraison chez les accessions analysées. Un retard de semis induit une augmentation de la production de talles, alors que le nombre de panicules récoltables décroît avec la date de semis entraînant une perte de 10 à 96 % en graines des accessions. Enfin tous les 20 marqueurs microsatellites utilisés pour cette étude étaient polymorphes et ont permis de structurer la diversité en trois groupes sur la base des zones d'origine ( $F_{ST} = 0,481$ ). Ainsi les différenciations inter-régions géographiques sont très significatives suggérant que chaque région représente un compartiment. Les flux de gènes sont faibles, à l'importance des distances séparant les régions et faisant office de barrière d'inter-pollinisation naturelle.

**Mots-clés :** Sorgho, diversité génétique, photopériodisme, Burkina Faso

## **ABSTRACT**

Within the framework of the safeguarding of the genetic resources of the sorghum of Burkina Faso, a prospection was carried out between 1984 and 1986 and led to the collection of accessions preserved since this time in the germoplasme of the University Ouaga I Professor Joseph Ki-zerbo. In comparison with the climatic changes which affect the rural mediums more, it is observed a marked erosion of the genetic resources and a significant reduction in the productivity of the cultivated varieties. Thus, it appears significant to evaluate existing genetic diversity in this collection in order to create new varieties more adapted to this change. Thus 120 accessions of sorghum grains of this bank were evaluated on the agromorphological and photoperiodical. In the same way, 64 of them were genotyped, in order to measure and structure genetic diversity for its durable use in a program of varietal improvement. It comes out from this study that 77,5 % of the accessions have white corns, 76,85 % are with husk easy, 87,5 % are aristed and 55,83 % have hairs on the level of the glumes. The heritability of the studied characters, shows that the share due to the medium, presents in total variability is weak, which is an asset for a selection of these characters. All the accessions are sensitive to the photoperiod and reduced, at the time of a delay of 30 days sowing, their cycle around 4 H at 24 days and more than 80 % of the accessions flowered in the 20 days which preceded the end by the rains. Flower initiation began for the period when the duration of the day was around 10 hour and the temperatures around 24 and 34 °C, respectively for the minimal one and the maximum one. The temperature interferes with the photoperiod to induce flowering at the analyzed accessions. A delay of sowing induces an increase in the production of tiller, whereas the number of panicles ready for harvesting decrease with the date of sowing stirring a loss from 10 to 96 % out of seeds of the accessions. Finally all the 20 markers microsatellites used for this study were polymorphic and allowed to structure diversity in three groups on the basis of the zones of origin ( $F_{ST} = 0,481$ ). Thus geographical differentiations inter-areas are very significant suggesting that each area represents a compartment and gene flows are weak, with the importance of the distances separating the areas and making office of barrier of natural inter-pollination.

**Key words:** Sorghum, Genetic diversity, Photoperiodism, Burkina Faso

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des gènes majeurs de précocité, leurs caractéristiques, et leurs localisations sur les différents chromosomes. ....	15
Tableau 2 : Nombre d'accessions par région de prospection.....	21
Tableau 3 : Répartition des 120 accessions de sorgho pour les caractères qualitatifs étudiés .....	27
Tableau 4 : Résultats de l'analyse de variances des variables quantitatives .....	29
Tableau 5 : Influence des facteurs sur la variation des caractères .....	32
Tableau 6 : Matrice de corrélation entre les caractères étudiés .....	34
Tableau 7 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée pour les cinq premiers axes à partir des 13 variables quantitatives en analyse en composantes principales. ....	35
Tableau 8 : Performances moyennes des groupes.....	38
Tableau 9 : Paramètres génétiques calculés pour les dates de semis cumulées .....	39
Tableau 10 : Performance des accessions pour les deux dates de semis.....	47
Tableau 11 : Variation et valeurs moyennes des coefficients de photopériodisme par région .....	48
Tableau 12 : Répartition de la réduction du cycle des accessions par zone pluviométrique .....	50
Tableau 13 : Performance des accessions pour les deux dates de semis.....	55
Tableau 14 : Les performances des TAV et TAU pour les deux dates de semis .....	55
Tableau 15 : Caractéristiques des 20 marqueurs microsatellites utilisés dans l'étude .....	64
Tableau 16 : Description de la diversité des 64 accessions de sorgho du Burkina Faso par locus .....	69
Tableau 17 : Ecart-types des paramètres de diversité .....	69
Tableau 18 : Paramètres de diversité et de différenciation des sorghos grains du Burkina Faso en fonction des différents facteurs de structuration .....	72
Tableau 19 : Indice de différenciation génétique ( $F_{ST}$ ) des différents facteurs de structurations .....	73
Tableau 20 : Paramètres de diversité et de différenciation des différents groupes génétiques de sorghos grains du Burkina Faso .....	76
Tableau 21 : Distance génétique entre paire de groupes génétiques.....	76

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : <i>Taxonomie du genre Sorghum, d'après Harlan et de Wet (1972)</i> .....	3
Figure 2 : <i>la panicule des cinq races de base de sorghos cultivés</i> .....	5
Figure 3 : <i>Schéma de domestication des sorghos cultivés (d'après Ollitrault et al., 1989)</i> .....	6
Figure 4 : <i>Schéma d'un plan de sorgho (d'après Lafarge, 1988)</i> .....	8
Figure 5 : <i>Schéma de l'induction photopériodique de la floraison chez les plantes de jour court. D'après Lumdsen (1998)</i> .....	11
Figure 6 : <i>Cycle du sorgho montrant les différentes phases physiologiques du sorgho. BVP= Base Vegetative Phase, FD=feuille drapeau, Ep= épiaison et Fl= floraison (Belliard, 1982)</i> .....	14
Figure 7 : <i>Carte d'origine des accessions étudiées en fonction des zones climatiques</i> .....	21
Figure 8 : <i>Dispositif expérimental</i> .....	22
Figure 9 : <i>Variables agromorphologiques observées chez le sorgho</i> .....	25
Figure 10 : <i>Distribution des variables des accessions : ajustement d'une distribution normale.</i> .....	30

Figure 11 : <i>Distribution des variables des accessions : ajustement d'une distribution normale.</i> .....	30
Figure 12 : <i>Dendrogramme issu de la CAH des accessions de sorghos du Burkina Faso.</i> .....	36
Figure 13 : <i>Représentation des groupes sur l'axe ½ de l'AFD</i> .....	37
Figure 14 : <i>Distribution de la durée semis-feuille drapeau et du coefficient de photopériodisme</i> .....	49
Figure 15 : <i>Relation entre la SDF et le coefficient K</i> .....	49
Figure 16 : <i>Variation de la durée du cycle entre les deux dates de semis</i> .....	50
Figure 17 : <i>Evolution de la floraison pour les deux dates de semis</i> .....	51
Figure 18 : <i>Répartition de la pluviométrie (Direction National de Météorologie de Burkina Faso, 2010)</i>	51
Figure 19 : <i>Histogramme de la floraison cumulée des deux dates de semis</i> .....	52
Figure 20 : <i>Insolation moyenne (Direction National de Météorologie de Burkina Faso, 2010)</i> .....	52
Figure 21 : <i>Répartition des températures (Direction National de Météorologie de Burkina Faso, 2010)</i> <i>TCM : température moyenne ; TMAX : température maximale ; TMIN : température minimale</i> .....	53
Figure 22 : <i>Répartition du coefficient de photopériodisme en classe</i> .....	53
Figure 23 : <i>Représentativité en K des accessions de chaque région par classe</i> .....	54
Figure 24 : <i>Représentation en classe de coefficient de photopériodisme des accessions par région</i> .....	54
Figure 25 : <i>Variation du nombre de talles végétatifs en fonction de la date de semis</i> .....	56
Figure 26 : <i>Variation de nombres de talles utiles en fonction de la date de semis</i> .....	56
Figure 27 : <i>Variation du nombre d'entre-nœuds en fonction de la date de semis</i> .....	57
Figure 28 : <i>Variation de la hauteur des plantes en fonction de la date de semis</i> .....	58
Figure 29 : <i>Structuration des 64 individus sur les axes 1 x 2 de l'AFTD (45,40% d'inertie)</i> .....	74
Figure 30 : <i>Dendrogramme construit à partir de la matrice de dissimilarités selon la méthode Neighbour- Joining mettant en exergue la répartition selon les zones.</i> .....	75

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1. Représentation des groupes du Burkina Faso dans le plan 1x2 de l'AFTD (45,58% d'inertie) en fonction de la zone climatique.....	88
Annexe 2. Représentation des groupes du Burkina Faso dans le plan 1x2 de l'AFTD (45,58% d'inertie) en fonction des régions.....	88
Annexe 3. Représentation des groupes du Burkina Faso dans le plan 1x2 de l'AFTD (45,58% d'inertie) en fonction des régions.....	89
Annexe 4. Publications.....	89
Annexe 5. Article 1 tiré de la thèse : Caractérisation de quelques écotypes performants de sorghos Burkinabés.....	91
Annexe 6. Article 2 tiré de la thèse : étude du photopériodisme des écotypes de sorgho du Burkina Faso.....	101

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

**ACP:** Analyse en Composantes Principales ;

**AFD:** Analyse Factorielle Discriminante ;

**AFTD :** Analyse Factorielle sur Tableau de Distances ;

**AGAP:** Unité Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes méditerranéennes et tropicales ;

**ANOVA:** Analysis Of Variance;

**ARI:** Aristation ;

**BUNASOL :** Bureau National des Sols ;

**CAH :** Classification Ascendante Hiérarchique ;

**CDB :** Convention sur la Diversité Biologique ;

**CGL :** Couleur des glumes ;

**CGR :** Couleur du grain ;

**CIRAD :** Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement ;

**CPL :** Couleur des plantules ;

**CREAF :** Centre de Recherche Environnementale, Agricole et de Formation ;

**CV :** coefficient de variation ;

**DIT :** diamètre de la tige ;

**EDTA:** Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid;

**EXE:** Exertion ;

**FAO:** Food and Agriculture Organization ;

**FAOSTAT:** Food and Agriculture Organization Statistics ;

**FTA :** Flinders Technology Associates ;

**GCV :** Coefficient de Variation Génotypique ;

**GDRN :** Gestion Durable des Ressources Naturelle ;

**GPA :** rendement grains de la panicule principale ;

**GPL :** rendement grains par plante ;

**HPM:** hauteur de la plante a maturité ;

**ICRISAT:** International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics ;

**IDR :** Institut du Développement Rural ;

**IDVPV** : Intensification Diversification et Valorisation des Productions Végétales ;  
**INERA** : Institut National de l'Environnement et de Recherches Agricoles ;  
**IBPGR**: International Board of Plant Genetic Resources;  
**IPGRI**: International Plant Genetic Resources Institute;  
**LAF** : largeur de la 3<sup>ème</sup> feuille sous paniculaire ;  
**LAP** ; largeur de la panicule principale ;  
**LOF** : longueur de la 3<sup>ème</sup> feuille sous paniculaire ;  
**LOP** : longueur de la panicule ;  
**NEN** : nombre d'entre-nœuds ;  
**NJF** : nombre de jours à 50 % floraison ;  
**ORSTOM**: Organisme de Recherche Scientifique des Territoires d'Outre Mer (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) ;  
**PCG** : Poids de Cent Grains ;  
**PCR**: Polymerase Chain Reaction ;  
**PCV** : Coefficient de Variation Phénotypique ;  
**LOE** : longueur de l'entre-nœud ;  
**PNUD**: Programme des Nations Unies pour le développement ;  
**PPA** : poids de la panicule principale ;  
**QTL** : Quantitative Traits Loci ;  
**SNP**: Single Nucleotide Polymorphism ;  
**SSR**: Single Sequence Repeat ;  
**TBE**: Tris-Borate Ethidium ;  
**TE** : Tris-EDTA ;  
**TBO** : Type botanique ;  
**VIT** : Vitrosité ;  
**ZAT** : Zone d'Animation Technique ;

## INTRODUCTION GENERALE

Durant des millénaires, les hommes ne vivaient que de la chasse et de la cueillette et, il y a environ 12 000 ans, ils ont réalisé qu'ils pouvaient conserver et planter des semences d'une saison à l'autre. Depuis cette époque, plus de 7 000 espèces végétales sont cultivées ou cueillies pour être consommées dans le monde (FAO, 2012). Actuellement, seulement 30 espèces (0,43%) couvrent 95% des besoins énergétiques humains (FAO, 2012).

L'humanité compte aujourd'hui 7,35 milliards d'habitants et selon les projections, elle pourrait atteindre 8 milliards en 2025 (FAO, 2015). Une augmentation considérable du nombre d'humains est notée au sein 'tiers monde', avec un doublement des effectifs en Afrique (Dufumier, 2004). Environ 815 millions de personnes dans le monde sont aujourd'hui sous alimentées, dont près de 795 millions dans les seuls pays du « Sud » (FAO, 2015). Selon le programme des Nations unies pour l'environnement, les terres arables par habitant seraient passées de 0,3 à 0,2 hectare entre 1975 et 1995, du fait de l'accroissement de la population et de la reconversion des terres cultivables à d'autres usages. Cela représente un grave problème car les rendements des spéculations cultivées en Afrique subsaharienne sont faibles et l'augmentation de la production est essentiellement due à l'extension des surfaces emblavées (Hanak-Freud, 2000).

Au regard de la diminution des surfaces des terres cultivables, de la saturation progressive de l'espace rural et du faible rendement des variétés, il est nécessaire d'améliorer la productivité des variétés locales. Des variétés améliorées à haut rendement, créées dans les institutions de recherche ont été introduites en milieu paysan (Trouche *et al.*, 1998 ; Vaksman *et al.*, 1996 ), mais elles ont faiblement été adoptées (Trouche *et al.*, 2001). Les variétés traditionnelles, bien que peu productives, sont génétiquement plus diversifiées que celles améliorées (Sagnard *et al.*, 2008). Cependant, trois quarts de la diversité génétique variétale des plantes cultivées ont disparu au cours du XX<sup>e</sup> siècle (FAO 2010). Le sorgho n'en fait pas exception. Classé au cinquième rang des céréales dans le monde, il arrive en deuxième position en Afrique après le maïs. Sa production annuelle mondiale est comprise entre 57 à 63 millions de tonnes (FAO, 2010) et en Afrique, elle est de 23 350 064 de tonnes par an, pour environ 23 142 595 d'ha (Macauley *et al.*, 2015). Au Burkina Faso, la production agricole est dominée par les cultures céréalières occupant

67,3 % des superficies totales cultivées, le sorgho occupe 41,5 % de la superficie céréalière soit une production de 1 707 613 tonnes par an (MARHASA/DGESS, 2015).

La prospection est l'un des moyens, souvent le seul, pour sauvegarder les espèces en voie de disparition (Pernès 1984). Pour pallier les pertes de la diversité des espèces, une prospection du sorgho du Burkina Faso a été réalisée, de 1984 à 1986 et a abouti à la collecte de 885 accessions conservées dans le germoplasme de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO. Conservée depuis 1986 à l'abri des aléas climatiques, de la dynamique des transformations du biotope, particulièrement l'évolution des agresseurs et n'étant peut être pas génétiquement stable, du fait de la non existence des interactions variétés et milieu (Pernes, 1984), cette collection pourrait permettre d'obtenir une diversité, non pas nécessairement supérieure aux variétés actuelles cultivées, mais présentant des allèles qui auraient disparu dans le contexte actuel des sorghos cultivés.

Les sorghos de l'Afrique de l'Ouest sont très photopériodiques, caractéristique qui leur confère un important avantage évolutif en raison du climat continental de la zone, caractérisé par de fortes variations interannuelles du régime pluviométrique (Clerget *et al.*, 2004). On considère souvent qu'il existe une corrélation négative entre les performances de la plante et la stabilité du rendement. Pourtant, la rusticité des variétés locales n'est pas inconciliable avec l'augmentation de la productivité. Le photopériodisme et l'aptitude au tallage sont positivement corrélés à la productivité (Vaksmann *et al.*, 2008). Les réponses physiologiques à la photopériode ont été peu quantifiées chez les céréales chez lesquelles ce caractère a été contre-sélectionné jusqu'à présent.

L'objectif principal du présent travail est de connaître le niveau de la diversité génétique et les réactions photopériodiques des accessions du germoplasme, afin d'améliorer les variétés cultivées dans un contexte de changement climatique. Il s'agit spécifiquement d'étudier la variabilité agromorphologique, la sensibilité à la photopériode et la diversité moléculaire.

Le présent document se structure en quatre chapitres. Le premier chapitre, intitulé "généralités sur le sorgho", fait un aperçu général sur l'origine du sorgho, sa dispersion et les éléments induisant son adaptation dans le contexte de changement climatique. Le deuxième chapitre traite la diversité génétique sur le plan agromorphologique, le troisième chapitre se consacre à la diversité des réactions photopériodiques des accessions, enfin le quatrième chapitre analyse cette diversité génétique sur le plan moléculaire.

# CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE SORGHO

## 1. BIOLOGIE ET ECOLOGIE DU SORGHO

### 1.1. Taxonomie

De l'ordre des Poales, le sorgho appartient à la famille des Poaceae, tribu des Andropogoneae et au genre *Sorghum* (Figure 1). Cette famille cosmopolite regroupe près de 12 000 espèces, 700 genres et représente environ 20 % de la couverture végétale du globe terrestre. Le sorgho cultivé présente une très grande diversité de formes décrites par différentes classifications botaniques. Moench en 1794 a défini le genre *Sorghum* et l'espèce *Sorghum bicolor*. Ainsi, la classification actuelle du genre *Sorghum* (*S.*) et des espèces respecte les définitions établies par Moench, et tous les noms spécifiques des espèces décrites jusqu'à présent sont considérés comme des synonymes de *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

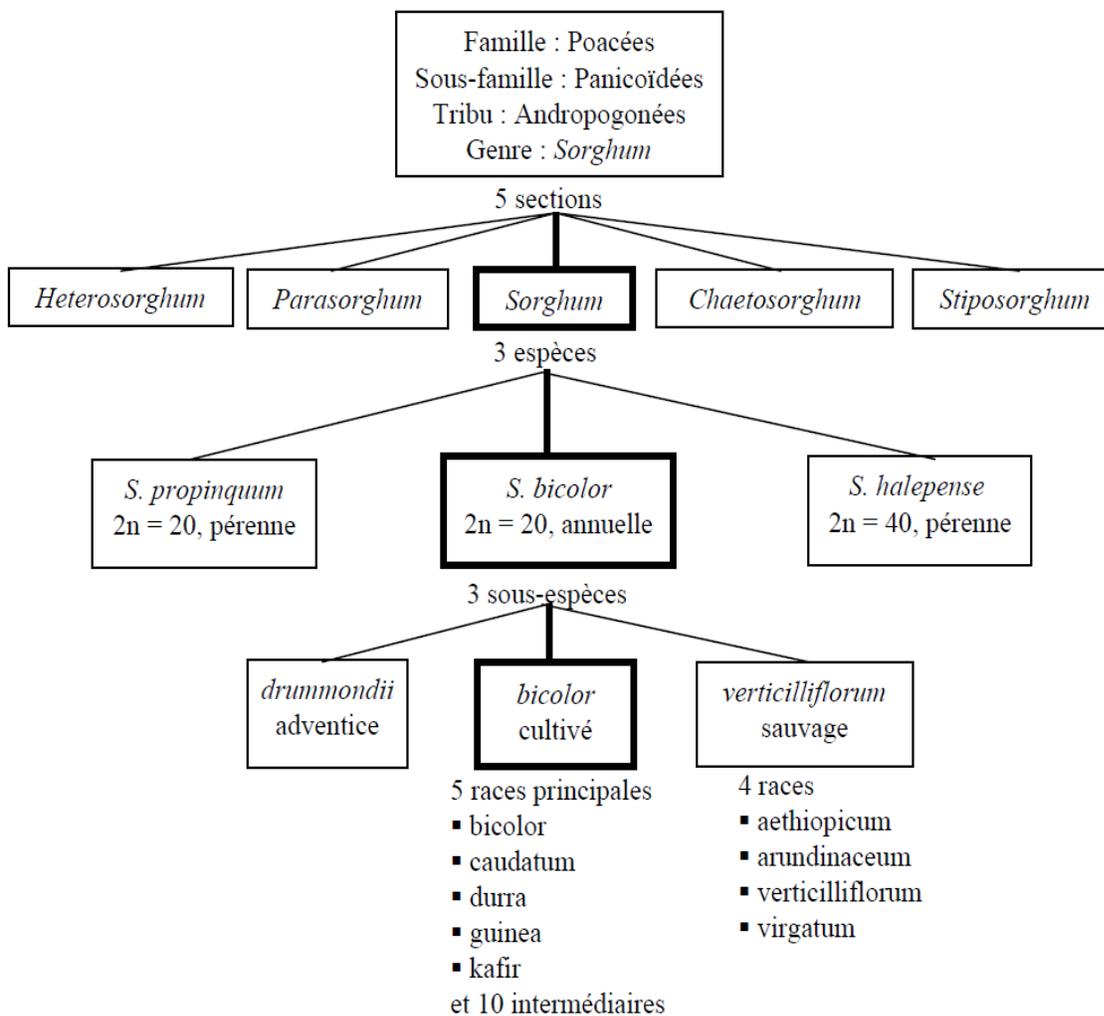


Figure 1 : Taxonomie du genre *Sorghum*, d'après Harlan et de Wet (1972)

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* (Figure 2), et dix races intermédiaires issues d'hybridations entre les principales races deux à deux.

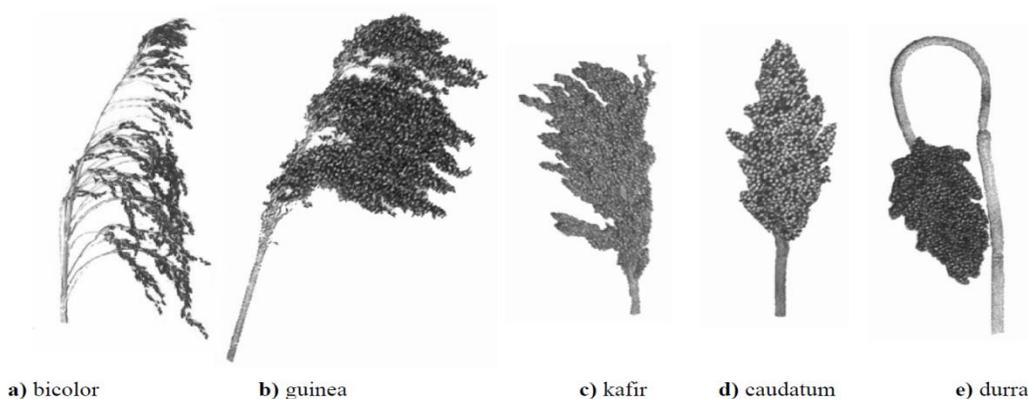
La race *bicolor* est considérée comme la première race de sorgho domestiquée notamment parce qu'elle présente un certain nombre de caractères peu évolués. Les grains de sorghos de race *bicolor* sont petits, elliptiques et recouverts par des glumes coriaces. Leur teneur en tannins est généralement élevée. Les panicules sont le plus souvent lâches comme chez les sorghos sauvages. Ils se trouvent dans toutes les aires de cultures du sorgho mais généralement sur de petites surfaces (Harlan et de Wet, 1972).

La race *guinea* se distingue par leurs grains elliptiques, plus ou moins aplatis dorso-ventrale et insérés dans des glumes longues et largement ouvertes à maturité. Ce dernier trait leur est propre. Selon les variétés, la taille du grain varie, leurs panicules sont plutôt longues, lâches à semi-lâches. Les *guinea* dominent dans les aires les plus humides de la culture du sorgho comme dans la zone sud-soudanienne et nord-guinéenne de l'Afrique de l'Ouest. Sur pied, leurs caractéristiques d'épillet et de panicule préservent leurs grains d'un excès d'humidité favorable au développement des moisissures (Harlan et de Wet, 1972).

La race *caudatum* est caractérisée par des grains dissymétriques, dits en carapace de tortue, avec une face bombée et l'autre plate. Leur taille varie de moyenne à grosse. Leurs glumes, de taille inférieure aux grains, sont adhérentes à ces derniers. Leurs panicules semi-compactes à compactes ont souvent une forme fusoïde ou oblongue. Les sorghos *caudatum* sont plus particulièrement présents en Ethiopie, au Soudan, au Tchad et au Nigéria. Ils sont toujours utilisés dans les programmes de sélection en raison de leur forte productivité. Cependant, la qualité de leur grain à tendance farineuse ne convient pas à certaines utilisations (Harlan et de Wet, 1972).

Les sorghos de la race *durra* ont la particularité d'avoir des grains relativement sphériques insérés dans des glumes courtes et adhérentes. Cette race possède des sorghos à panicules compactes et souvent portées par un pédoncule crossé. Elle a trois centres de diversification qui sont, la région Ethiopie-Soudan, le Proche Orient et l'Inde (De Wet et Huckabay, 1967). Ce sont des sorghos rustiques adaptés aux zones sèches ou aux zones de décrue.

La race *kafir* est surtout présente en Afrique du Sud, son centre d'origine est en Afrique de l'Est. Selon Harlan et De Wet (1972), le nom *kafir* dérive de l'arabe et signifie « païen » en référence au peuple noir qui cultivait cette race. Les panicules ont une forme cylindrique et varient du type semi-compact au type compact avec des grains à tendance sphérique.



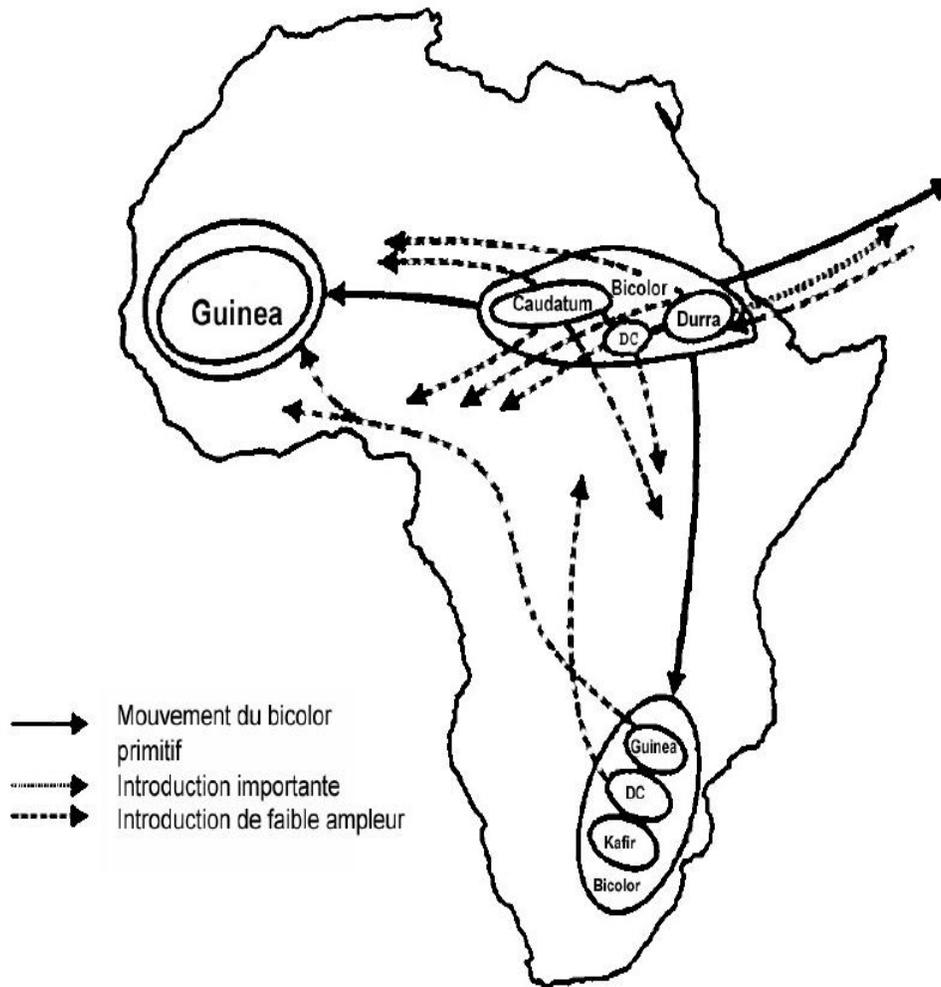
**Figure 2 :** la panicule des cinq races de base de sorghos cultivés

## 1.2. Origine et dispersion

Il est difficile de déterminer quand et où le sorgho a été domestiqué (De Wet *et al.*, 1967). Murdock (1959) indique que les peuples Mandé qui vivent aux alentours des sources du Niger peuvent avoir domestiqué le sorgho. Doggett (1988) fait remarquer que des faits archéologiques montrent que la pratique de la domestication des céréales a été introduite en Egypte à partir de l'Ethiopie environ 3 000 ans av J-C (Figure 3). Il est possible que la domestication du sorgho ait débuté à cette époque. De Wet et ses collaborateurs en 1967 avancent qu'à partir d'un ancêtre commun, *S. verticilliflorum*, deux formes de sorghos sauvages ( $X=10$ ) se seraient différenciées dont *S. arundinaceum* une graminée des forêts tropicales, annuelle et très proche de *S. bicolor* ; *S. aethiopicum* et *S. virgatum*, rencontrées dans les zones désertiques, pérenne et rhizomateuse. Ces deux formes ont des habitats qui se situent à l'extérieur des zones principales de culture du sorgho et ont probablement moins contribué à sa domestication.

Pour Snowden (1936) les races *durra*, *guinea* et *kafir* sont étroitement liées et pourraient provenir de *S. verticilliflorum*. Les différences morphologiques entre races peuvent avoir pour cause l'isolement ethnique. La race *kafir* est largement cultivée dans la zone Bantou de l'Afrique où la race *durra* n'est pas trouvée ; la race *caudatum* est plus commune dans le centre du Soudan, alors que la race *guinea* ne se rencontre en premier lieu qu'en Afrique de l'Ouest (House, 1987).

Les types *durra* sont en extension continue à partir de l'Ethiopie, qui semble être le centre d'origine du sorgho, le long du Nil vers le Proche-Orient, et à travers l'Inde vers la Thaïlande. Les types *durra* ont été introduits probablement en Arabie dès l'époque du Royaume de Saba (1000 à 800 ans av. J-C) et plus tard essaimé vers le Proche-Orient en empruntant les routes commerciales. Le sorgho a probablement atteint l'Inde par les routes à la fois maritimes et terrestres. Sa date d'arrivée en Inde serait postérieure à l'arrivée des SANSSCRITS dans la région vers 1500 ans av J-C. Sa culture en Inde est mentionnée dans les légendes qui datent du 1<sup>er</sup> siècle avant J-C. (House, 1987). Le sorgho aurait atteint le Moyen-Orient et le bassin méditerranéen, à partir de l'Ethiopie, en passant par l'Inde et l'Arabie et non l'Egypte où ne se rencontre pas du sorgho avant l'époque romaine et byzantine.



**Figure 3 :** Schéma de domestication des sorghos cultivés (d'après Ollitrault et al., 1989)

### 1.3. Morphologie

Le sorgho, est une céréale des climats tropicaux semi-arides (Figure 4). Le système racinaire du sorgho est très puissant et composé de racines fasciculées. Celles-ci prennent naissance sur des entrenœuds très courts de la base des tiges (racines adventives). Elles sont minces et portent des fines radicules qui explorent le sol dans toutes les directions. Elles ont 25 à 30 cm de long. Certaines d'entre elles atteignent 1,5 m de profondeur, ce qui confère au sorgho une très grande résistance aux stress hydriques sévères (Chantereau et Nicou, 1991).

Les tiges de sorgho sont cylindriques, droites, pleines et formées d'entrenœuds séparés par des nœuds. Leur taille varie entre 0,8 à 5 m de haut et le diamètre est compris entre 1 à 4 cm, leur couleur est verte, généralement, plus ou moins colorée de rouge selon les variétés. Au niveau de chaque nœud on distingue un bourgeon qui peut donner naissance à des tiges secondaires et tertiaires sur les nœuds de la base (tallage). La tige présente habituellement un port érigé, on rencontre des ports incurvés chez la variété Korgi. Solide, elle peut être succulente ou sèche, sucrée ou insipide dans sa zone médullaire (Doggett, 1988).

Les feuilles du sorgho sont alternes, distiques, longues et engainantes ; à gaine fendue recouvrant entièrement ou partiellement l'entrenœud. Entre le limbe et la gaine se trouve une ligule. Les feuilles ont entre 50 à 80 cm de long et entre 5 à 10 cm de large. Elles sont vertes, parfois colorées en rouge, les nervures sont parallèles.

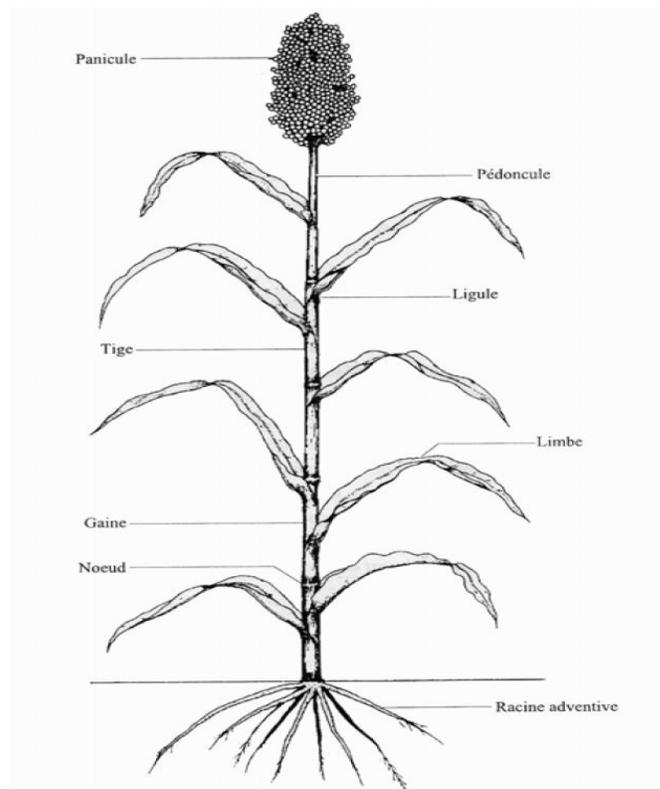
Les tiges et les feuilles peuvent contenir de l'acide cyanhydrique, "la fourme" très toxique pour les animaux. Ce produit toxique apparaît surtout dans les gourmands, dans les repousses et dans les tiges de sorgho qui ont subi un arrêt de croissance brusque par suite d'une sécheresse ou une coupe. Les feuilles de longueur variable, sont plus courtes et plus étroites au sommet de la tige (drapeau ou feuille paniculaire). Elles portent chez certaines espèces, à la face inférieure des poils appelés trichomes (Chantereau et Nicou, 1991).

Le pédoncule est l'entrenœud supérieur qui porte l'inflorescence. Il peut être droit ou recourbé (crossé) chez certaines races durra. Pour des raisons de caractères variétaux ou d'influence du milieu (sécheresse) ; le pédoncule peut présenter une très courte longueur, dégageant mal l'inflorescence de la dernière gaine (mauvaise exsertion).

L'inflorescence est une panicule racemeuse. Les panicules sont de dimensions variables selon les variétés, plus ou moins compactes, parfois même lâches (Zongo, 1991). Elles comprennent

un axe principal, le rachis qui se ramifie en rameaux primaires. Ces derniers se ramifient à leur tour pour donner des branches secondaires d'où peuvent apparaître des branches tertiaires. C'est à l'extrémité des dernières ramifications que l'on trouve les épillets groupés généralement par deux ou trois, l'épillet central sessile souvent muni d'une arête et de deux épillets latéraux pédicellés. Les épillets pédicellés sont généralement caducs. Chaque épillet porte une ou deux fleurs. Une seule fleur est en général fertile. Elle est insérée entre deux glumes et comprend trois étamines, un ovaire à une loge surmontée de deux stylets à deux stigmates plumeux. Les anthères sont portées par des longs filets filiformes.

La graine est un caryopse de quatre à cinq millimètres de long qui reste entouré de ses glumes à maturité. De forme plus ou moins sphérique, la graine peut être de couleur blanche, noire, jaune, rouge ou brune.



**Figure 4 :** Schéma d'un plan de sorgho (d'après Lafarge, 1988)

#### 1.4. Physiologie

Le sorgho cultivé est une herbacée annuelle dont la durée du cycle complet dans les conditions normales (saison de pluie) varie selon les variétés et se situe entre 90 à 150 jours.

La germination se fait au bout de 24 heures après semis sur un sol humide et la levée, a lieu 4 à 5 jours après semis. Au cours de la germination, apparaissent successivement la racine, puis la tige, les feuilles et enfin les nouvelles racines sur la base de la tige (racines adventives). Une fois la levée effectuée, le jeune sorgho peut résister très fortement à la sécheresse (Chantereau et Nicou, 1991). Le tallage commence deux semaines après le semis et se caractérise par l'apparition au niveau des nœuds de la base de la tige principale des tiges secondaires par paire. Parallèlement, les racines adventives s'accroissent et dans certains cas, peuvent naître des tiges tertiaires.

Les panicules sont émises par les tiges, une fois celles-ci bien développées. Elles se mettent en place en général entre 50 à 80 jours après semis, cependant il existe des variétés extra-tardives chez qui, elles se mettent en place après 120 jours. Puis après l'épiaison, la fécondation se met en place et se caractérise par l'ouverture des fleurs et l'épandage des grains de pollen. La maturation va de la fécondation jusqu'au stade grain mûr. Au début de son développement, l'ovule fécondé a l'aspect d'une sphère vert-claire à presque crème. Après 10 jours, il prend du volume et passe au vert foncé. Il faut environ 30 jours aux grains pour atteindre leur poids sec maximal (House, 1987). D'après Cerrighelli (1955), la durée de la maturation va de 25 à 55 jours et pendant cette période, la graine passe par trois étapes, le stade laiteux, le stade pâteux et le stade vitreux.

#### **1.4.1. Mode de reproduction**

Le sorgho est une espèce monoïque considérée comme autogame. Son taux d'allogamie est faible, de l'ordre de 6 % (Doggett, 1988) et varie selon les races. Il est considéré comme nul pour les variétés totalement cléistogame (fleurs s'ouvrant après la fécondation), il peut atteindre 30 % pour certains sorghos fourragers (Chantereau et Kondombo, 1994).

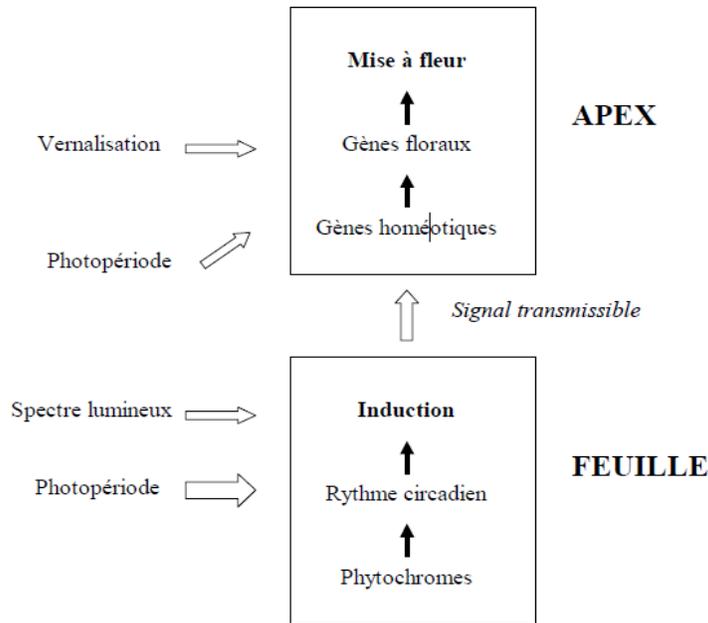
#### **1.4.2. Photopériodisme, mécanisme induisant la floraison**

##### **1.4.2.1. Description du photopériodisme**

Le photopériodisme est un phénomène par lequel l'éclairement intervient non par son intensité mais par sa durée au cours du cycle de 24 heures (Franquin, 1971). Ce phénomène désigne les réactions de certaines plantes à une alternance définie de lumière et d'obscurité au cours de ce cycle. Chez les végétaux la mise à fleur constitue la réaction essentielle, mais d'autres réactions comme l'entrée en dormance et l'abscission sont sous le contrôle de ce phénomène.

La relation entre le développement des plantes et la durée du jour plutôt qu'avec la quantité de lumière reçue a été démontrée simultanément par Tournois (1912) et Klebs (1913). Garner et Allard (1920) ont été les premiers à clairement comprendre que la floraison et de nombreuses réactions physiologiques étaient accélérées soit par les jours longs soit par les jours courts, en fonction des variétés considérées. Les plantes peuvent ainsi être classées d'après leur réponse à la photopériode en 3 grandes catégories, souvent caractérisées par la durée nécessaire jusqu'à la floraison : les plantes de jour court, les plantes de jours long et les plantes indifférentes. Chez les variétés indifférentes, le temps nécessaire à la floraison est fixé quel que soit la durée du jour, au-dessus d'un seuil minimal correspondant à une exigence trophique minimale généralement de 4 à 5 heures (Heller, 1982).

Pour une même latitude, la durée relative des jours et des nuits est un paramètre de l'environnement qui se reproduit de façon absolument reproductible d'année en année à la même date, c'est donc un bon repère des saisons. Les exigences photopériodiques de nombreuses plantes sont extrêmement strictes, ce qui explique le calendrier de floraison précis observé. Ainsi, les plantes qui ont évolué dans des conditions où l'environnement lumineux subissait des fluctuations liées aux changements de saison se sont adaptées à ces conditions pour mieux contrôler leur développement. Le terme plante de jour court ou de jour long ne signifie pas que la période d'éclairement est courte ou longue en valeur absolue, ou même par rapport à la période d'obscurité mais simplement que la floraison n'interviendra que pour une durée d'éclairement plus courte ou plus longue que l'hémépériode (période de lumière) critique. Par exemple, *Xanthium* sp, plante de jour court ne fleurit que pour une photopériode inférieure à l'hémépériode critique ( $H_C$ ) qui est de 15 h. Elle fleurit pour une durée d'éclairement de 14 h 30 plus importante que la durée d'obscurité 9 h 30 (Figure 5).



**Figure 5 :** Schéma de l'induction photopériodique de la floraison chez les plantes de jour court. D'après Lumdsen (1998)

#### 1.4.2.2. Physiologie des mécanismes induisant la floraison en réponse à la photopériode

Les végétaux utilisent des signaux de l'environnement diversifiés pour réguler la transition vers l'état reproducteur au travers de la floraison. Ces mécanismes visent vraisemblablement à synchroniser la floraison des individus pour faciliter la pollinisation croisée et les brassages génétiques (Thomas, 1998). Les facteurs de l'environnement efficaces sont ceux qui présentent une variabilité saisonnière importante (température, lumière, mais aussi secondairement disponibilité en eau). Ces facteurs peuvent se substituer les uns aux autres dans des cas particuliers. Par exemple *Pharbilisnil* peut induire sa floraison dans des conditions de photopériode défavorable par un changement de température ou de conditions nutritives.

Dans le cas plus spécifique du photopériodisme, les mécanismes supposés convertir le stimulus lumineux initial en réponse physiologique font apparaître le rôle de facteurs hormonaux, la diversion des nutriments vers l'apex et le contrôle multifactoriel. Plusieurs théories ont été énoncées à cet effet. Au plan historique le concept de florigène est élaboré sur la base de nombreuses expériences de greffe montrant la transmission du stimulus de floraison. Elle a été ensuite étendue à un ensemble d'hormones à action antagoniste dont l'équilibre serait contrôlé par la photopériode. La diversion des nutriments (Sachs et Hackett, 1983) est une théorie qui se rapproche de la dominance apicale. Les conditions d'induction (bonne

photopériode) entraîneraient une meilleure alimentation de l'apex, en nutriments déclenchant la transition vers l'état floral. Le contrôle multifactoriel est une théorie intermédiaire dans laquelle interviendraient des hormones et des nutriments.

L'induction photopériodique de la floraison implique de la part de la plante les capacités d'une part, de distinguer la lumière et l'obscurité, de mesurer les durées de lumière ou d'obscurité et d'autre, part de transmettre l'information reçue sous une forme utilisable (Garner *et* Allard 1920).

Les plantes sont capables d'apprécier de façon extrêmement précise la durée des périodes lumineuses et obscures. Des différences d'une vingtaine de minutes dans la durée du jour pourront empêcher la plante de fleurir. Une théorie, dite du pendule, énoncée par Johnson *et al.* (1998) rendant compte de cette aptitude à la mesure du temps repose sur le concept des rythmes endogènes (la chronobiologie). Cette théorie suppose que la mesure du temps est reliée au degré de coïncidence (superposition) entre conditions lumineuses externes et oscillations internes de sensibilité à la lumière. Le rythme se manifeste spontanément en conditions naturelles ; il peut se maintenir pendant un certain temps en conditions constantes de lumière ou obscurité mais s'atténue et disparaît à la longue. En conditions naturelles le rythme est ré-initié toutes les 24 h par la transition jour nuit.

#### **1.4.2.3. Action de la température dans la réponse à la photopériode**

Franquin (1971) a réalisé un travail remarquable sur l'action combinée de la température et du photopériodisme. Selon l'auteur, la question du photopériodisme ne peut être traitée indépendamment de celle des températures car la température interfère avec la photopériode selon deux modalités, la somation de températures, ou températures accumulées et le thermopériodisme ou oscillation des températures diurnes ou nocturnes. Le développement, contrôlé en priorité par la photopériode chez les variétés photopériodiques peut, en effet, être modifié suivant que, pour une même température journalière, les phases diurne et nocturne se déroulent à des températures différentes, celles de la phase nocturne étant l'élément prédominant.

Il ne faut cependant voir dans la réaction thermopériodique, qu'un phénomène secondaire à la réaction photopériodique, seule la réponse à la photopériode est en effet inductive de la floraison. Ainsi, la floraison d'une variété photopériodique donnée est induite pour une durée critique bien définie de la phase nocturne, durée qui ne dépend que de la variété et non pas de la

température, qui est un aspect qualitatif. Il y a un aspect quantitatif, la floraison sera d'autant plus précoce et vigoureuse que la nuit est plus longue et que le nombre de cycles « jour court-nuit longue » appliqué est grand. C'est cette réaction quantitative qui est sous la dépendance de la température nocturne, le nombre de cycle nécessaire pour atteindre un degré donné de floraison étant d'autant plus grand que cette température est plus faible.

Chez les variétés photopériodiques, tout se passerait donc comme s'il y avait successivement induction puis initiation de la floraison, l'induction dépendant de la photopériode et l'initiation de la température. D'ailleurs, chez les espèces de jour court, comme le sorgho, il a été constaté que c'est la somme des températures nocturnes qui paraît déterminer l'initiation de la floraison chez les cultures préalablement induites à fleurir par la photopériode critique (Franquin 1971).

#### 1.4.2.4. Classification des espèces sur la base du photopériodisme

Sur la base de leur réaction au photopériodisme, les espèces et variétés de plantes cultivées en régions tropicales sont classées comme suit :

- ✓ les plantes de jours courts ou « nyctipériodiques » qui fleurissent lorsque la durée des jours est inférieure à une photopériode critique telles que le sorgho (*Sorghum bicolor*), le mil (*Pennisetum glaucum*) ou le maïs (*Zea mays*) ;
- ✓ les plantes de jours longs ou « héméropériodiques » dont la floraison est stimulée par la durée des jours supérieure à une photopériode critique, c'est le cas du blé (*Triticum aestivum*), du seigle (*Secale cereale*) ;
- ✓ et les espèces indifférentes à la durée du jour ou « aphotopériodiques » comme certaines variétés de maïs (*Zea mays*) ou de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) qui fleurissent indépendamment de la photopériode.

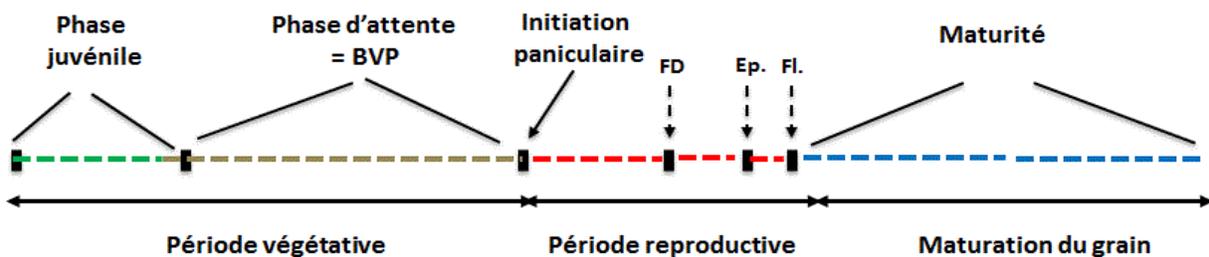
D'autres types ont été rapportés par la suite, comme les espèces intermédiaires et "ambiphotopériodiques" qui fleurissent uniquement lors de photopériodes particulières (Thomas et Vince-Prue, 1996). Il faut signaler que la photopériode critique est caractéristique de la variété mais évolue également avec l'âge de la plante. Par exemple, une plante de jours courts âgée aura un seuil d'induction plus élevé qu'une plante jeune car ses besoins en jours courts sont moindres (Heller, 1982). Cette capacité des plantes à répondre aux modifications de leur environnement fut décrite comme un facteur déterminant pour leur distribution naturelle. Les espèces adaptent leur biologie et particulièrement leur mode de reproduction aux variations naturelles de

photopériode dans leur milieu d'origine pour se caler sur la saison la plus favorable à leur survie (Cockram *et al.*, 2007).

#### 1.4.2.5. Les phases du développement photopériodique chez le sorgho

Chez le sorgho comme chez la plupart des céréales photopériodiques, le cycle de développement se partage en quatre phases physiologiques principales (Figure 6) :

- la phase juvénile qui est la période pendant laquelle la jeune plante n'est pas apte à fleurir quelles que soient les conditions extérieures inductrices ou non de la floraison ;
- la phase d'attente ou période pendant laquelle la plante reste à l'état végétatif si les conditions ne sont pas favorables (photopériode trop longue dans le cas des sorghos photopériodiques), mais qui pourrait initier la panicule dans le cas contraire ;
- la phase de reproduction est la période pendant laquelle le méristème végétatif se transforme en méristème floral aussitôt après l'induction ;
- enfin la phase de floraison et maturation des graines qui est la période allant de l'apparition de l'inflorescence jusqu'à la maturation totale des graines. Sitôt la polinisation opérée, le grain commence son développement pour atteindre sa maturité physiologique en passant par les stades laiteux et pâteux.



**Figure 6 :** Cycle du sorgho montrant les différentes phases physiologiques du sorgho. BVP= Base Vegetative Phase, FD=feuille drapeau, Ep= épiaison et Fl= floraison (Belliard, 1982).

#### 1.4.2.6. Déterminisme génétique de la date de floraison chez le sorgho

La compréhension des bases génétiques impliquées dans la variation de la date de floraison est importante pour la détermination de la façon dont les plantes s'adaptent à l'environnement et pour définir des idéotypes permettant de guider les programmes de sélection.

Quinby, pionnier de la recherche sur les gènes de maturité et de la hauteur du sorgho, a identifié les facteurs situés à quatre locus influençant la maturité (Tableau 1) qui sont : Ma1,

Ma2, Ma3 et Ma4 (Quinby, 1967). Généralement les sorghos tropicaux sont dominants (Ma-) aux quatre locus. Un état récessif (ma ma) à l'un de ces locus entraînera une réduction de la durée du cycle et une adaptation des sorghos à des zones plus tempérées. Ces quatre gènes contrôlent la date d'initiation florale et la durée de la croissance chez le sorgho. Leur expression est influencée à la fois par la photopériode et la température. Rooney et Aydin (1999) ont découvert deux autres gènes de maturité nommés Ma5 et Ma6. Ces gènes interagissent pour augmenter la sensibilité et la photopériode et allonger la durée de la phase végétative (Mace et Jordan, 2013).

Tableau 1 : Liste des gènes majeurs de précocité, leurs caractéristiques, et leurs localisations sur les différents chromosomes.

Gènes	Effets gènes	Origine de la citation	Chr	Position (cM)
<i>ma1</i>	Contrôle la réponse à la photopériode : apporte de la précocité même lorsqu'il est en présence de Ma2, Ma3 et Ma4.	Quinby 1945 Quinby 1973 Mace et Jordan 2010	6	42.1–54
<i>ma2</i>	Impliqué dans l'interaction photopériode x température	Quinby 1945 et 1973 Mace et Jordan 2010	?	?
<i>ma3</i>	Impliqué dans la production de phytochrome B	Mace et Jordan 2010	1	115.5–125.7
<i>ma4</i>	Influencé par la température	Quinby 1967 Mace et Jordan 2010	10	22.2-39.1
<i>ma5</i>	Apporte de la tardiveté (sous forme dominant)	Rooney 1999 Brady 2006	2	152.5-166
<i>ma6</i>	Apporte de la tardiveté (sous forme dominant)	Rooney 1999 Brady 2006	6	12

### 1.5. Ecologie

L'aire de culture du sorgho est très étendue. Il peut être cultivé entre le 40<sup>ème</sup> parallèle sud et le 49<sup>ème</sup> parallèle nord dans les régions tropicales. Cerrighelli (1955) rapporte cependant que, lorsqu'on se rapproche de la limite nord, seule la culture des variétés fourragères ou sucrières est profitable. La température est un facteur climatique pour lequel le sorgho est exigeant. Elle influence la longueur du cycle et agit sur la réponse à la photopériode. Pour germer, il lui faut une température comprise entre 10 et 45 °C, pendant la durée de sa végétation, l'optimum se situe vers 30-32°C, le développement floral et la formation des graines se déroulent normalement à des températures avoisinant 40 et 43 °C. Il résiste aux températures élevées même durant les

périodes de sécheresse, mais redoute le froid, cependant pour certaines variétés, la germination et la croissance peuvent se faire à des températures en dessous de 12 °C (House, 1987).

Le sorgho n'est pas très exigeant en eau, pour germer. Dès que le sorgho a formé son système racinaire, il résiste assez bien à la sécheresse. Ceci s'explique par le peu de surface foliaire de la plante et par la capacité qu'elle possède d'arrêter sa croissance. La seule période critique pour l'eau est l'épiaison. Le manque d'eau à cette période provoque l'avortement des panicules. Il faut 500 à 700 mm d'eau pour le sorgho pour son développement (Chantereau et Nicou, 1991).

La lumière est un facteur qui intervient de façon significative sur la croissance du sorgho. Le sorgho ne peut pas croître normalement à l'ombre. Garner *et al.* (1920) et Quinby (1967) rapportent que la lumière a un effet raccourcissant sur le cycle de développement de nombreuses variétés. Chantereau *et collaborateurs* (1997) signalent que les variétés locales des sorghos de race *guinea* en Afrique de l'Ouest sont en grande majorité sensibles à la photopériode.

Le sol est le support et la source d'éléments minéraux du sorgho. Ce dernier est peu exigeant à son égard. La plante tolère des sols à pH compris entre 5,5 et 8,5. Elle peut être cultivée sur des sols salins ou alcalins, des sols mal drainés, des sols lourds, des sols légers (Doggett, 1988).

## **2. DIVERSITE GENETIQUE DES SORGHOS CULTIVES DU BURKINA FASO**

L'évaluation de la diversité génétique a pour but d'approfondir la connaissance de la variabilité de l'espèce contribuant ainsi à une meilleure identification des groupes de plantes pouvant être mieux exploités selon leurs aptitudes propres et leurs complémentarités.

### **2.1. Diversité agromorphologique**

L'unique voie permettant aux sélectionneurs de faire un bon choix du matériel de départ issu de croisement ou une variété population, est l'aspect morphologique. Il permet de réaliser une sélection efficace, car il est plus aisé d'apprécier les caractères recherchés avec le phénotype des individus de la population.

Le Burkina Faso est considéré comme un centre secondaire de diversité des sorghos cultivés (Chantereau *et al.*, 1997). Les variétés traditionnelles de sorgho qui y sont cultivées sont des populations gérées par les agriculteurs (Ollitrault *et al.*, 1997). Malgré l'existence de programmes de recherche sur l'amélioration génétique du sorgho depuis les années 1960, le taux d'adoption des variétés sélectionnées est resté très faible, représentant suivant les régions 2 à 5 %

des surfaces emblavées (Trouche *et al.*, 2001). Les variétés traditionnelles sont donc encore largement dominantes et très souvent préférées par les agriculteurs en raison de leur qualité de grain appropriée aux différentes utilisations culinaires, de leur rusticité et de leurs capacités d'adaptation aux variations climatiques et aux contraintes biologiques.

Une caractérisation agromorphologique réalisée sur les sorghos du Burkina Faso par Zongo (1991) a fait ressortir l'existence de 4 des 5 races de sorghos cultivés parmi lesquelles la race *guinea* avec une proportion de 93 % est de loin la plus dominante, suivi de *caudatum* (4 %), puis de *bicolor* (2 %) et enfin de *durra* (1 %). Barro-Kondombo *et al.* (2008) ont relevé quand à eux, la présence de 96,8 % de *guinea* dont 95,1 % sont de *gambicum* et 4,9 % de *margaritifera* ; 1,6 % de *durra* et 0,5 % de *caudatum*. En effet, selon Chantereau *et al.* (1997), les sorghos de la race *guinea* se singularisent en se scindant en trois groupes distincts que sont le groupe de *guinea* ouest-africains, le groupe de *guinea* sud-africains et le groupe des *guinea margaritifera*. Il existe également une importante diversité phénotypique des caractères, hauteur des plantes, poids de mille grains, et une grande variabilité de couleur et de la vitrosité des grains (Zongo, 1991 ; Thiombiano, 1983 et Scheuring, 1980). Plusieurs autres études menées sur les nouvelles collections de sorgho à graine et tiges sucrés cultivé ont montré l'existence d'une importante diversité gérée par les agriculteurs du Burkina Faso (Nebié, 2014 ; Sawadogo, 2015).

Aussi, les multiples usages du sorgho au Burkina Faso, lui confère une importante diversité agromorphologique, car il est utilisé abondamment dans la consommation humaine où il occupe la première place des céréales cultivées et secondairement dans la préparation de la bière locale et dans la teinture.

## **2.2. Diversité de réaction à la photopériode**

La diversité des durées de cycles et de la sensibilité à la photopériode confère aux variétés traditionnelles de sorghos une remarquable adaptation aux milieux et au climat sahélien (Brocke *et al.*, 2002). La caractéristique photopériodique des sorghos de l'Afrique de l'Ouest leur confère un important avantage évolutif en raison du climat continental de la zone, caractérisé par de fortes variations interannuelles du régime pluviométrique (Clerget *et al.*, 2004). Celle-ci permet aux sorghos semés tardivement, de fleurir plus rapidement vers la fin de la saison de pluies, lorsque la longueur du jour diminue. Le photopériodisme est, avant tout, un mécanisme permettant de rallonger le cycle de la plante.

Souvent, il est considéré l'existence d'une corrélation négative entre les performances de la plante et la stabilité du rendement. Pourtant, la rusticité des variétés locales n'est pas inconciliable avec l'augmentation de la productivité. Le photopériodisme et l'aptitude au tallage sont positivement corrélés à la productivité (Vaksmann *et al.*, 2008). Les réponses physiologiques à la photopériode ont été peu étudiées chez les céréales chez lesquelles ce caractère a été contre-sélectionné jusqu'à présent. Ainsi, la possibilité de semer dès l'installation des pluies et la synchronisation entre la durée du cycle et les limites de la saison des pluies confèrent des qualités de rusticité à l'écosystème. Barro-Kondombo (2010) a montré l'existence d'une importante diversité de durée de jour, caractérisée par 12,1 % des variétés présentant 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 ( $0,8 < K \leq 1$ ).

Les variétés photopériodiques sont spécifiquement adaptées à une zone géographique mais tolèrent une large gamme de dates de semis, ce qui est un caractère primordial pour les paysans africains (Soumaré *et al.*, 2008). Les variétés photopériodiques présentent la valeur moyenne du coefficient de photopériodisme, qui passe de 0,81 à 0,41 quand la latitude passe de 11 à 14° N (Kouressy *et al.*, 2008). Une variété est considérée adaptée à une zone si elle fleurit dans les 20 jours qui précèdent la date moyenne de fin de saison (Soumaré *et al.*, 2008).

### **2.3. Diversité moléculaire**

L'hypothèse selon laquelle la variabilité de la régulation de l'expression génétique était la principale source de la variabilité phénotypique a été avancée très tôt, dès 1934 par Harlan qui proposait que ce sont les « modifiés » qui font réellement l'espèce (Wallace *et al.*, 1956). Les marqueurs moléculaires, directement issus du polymorphisme existant au niveau de l'ADN, sont désormais utilisés fréquemment pour l'analyse des ressources génétiques et de programmes d'amélioration. Le terme marqueur sera pris dans le sens de marqueur génétique, c'est-à-dire qu'il sera toujours synonyme de locus marqueur. Un locus marqueur est un locus polymorphe qui renseigne sur le génotype de l'individu qui le porte et/ou sur le génotype des locus voisins.

Les SSR sont constituées de répétitions en tandem de motifs mono, di tri ou tétra-nucléotidiques. Les plus courantes sont (A)<sub>n</sub>, (AT)<sub>n</sub>, (GA)<sub>n</sub>, (GT)<sub>n</sub>, (TAT)<sub>n</sub>, (GATA)<sub>n</sub>, la valeur de n pouvant aller de quelques unités à plusieurs dizaines (Santoni *et al.*, 2000). De tels motifs sont très abondants dans le génome des organismes eucaryotes. Chez les végétaux supérieurs, les

premières estimations indiquent qu'il y aurait en moyenne un microsatellite di-nucléotidique tous les 30 à 100 kb (Morgane *et al.*, 1993). Outre leur distribution sur l'ensemble du génome, l'intérêt en génétique des microsatellites réside dans leur polymorphisme extrêmement élevé. Le polymorphisme concerne le nombre des unités de répétition qui constituent la séquence microsatellite. Celle-ci varie surtout à cause des erreurs dues au « glissement » de la polymérase lors de la réplication des chromosomes (Santoni *et al.*, 2000).

De nombreuses études ont analysé la diversité moléculaire des sorghos du Burkina Faso. Ollitrault *et al.*, (1987) et Zongo (1991) ont déterminé celle-ci à l'aide d'une étude enzymatique et ont trouvé une faible diversité génétique avec un taux de polymorphisme de 58,8 % et 27,8 % respectivement. Plusieurs travaux réalisés avec des marqueurs microsatellites ont montré l'existence d'une importante diversité génétique. Barro-Kondombo (2010) a travaillé sur 124 accessions de sorgho grains du Burkina Faso a obtenu un taux de polymorphisme de 79,3 %, Nebié (2014), sur 125 accessions de sorgho à tige sucré a obtenu un taux de polymorphisme de 100 % et Sawadogo (2015) sur 126 accession de sorgho à grains sucré a obtenu un taux de polymorphisme de 87 %.

La structuration de cette diversité, à l'aide d'un système enzymatique par Ollitrault (1987), Morden *et al.*, (1989) et Zongo (1991) a donné respectivement des valeurs de  $F_{ST}$  de 0,82 ; 0,71 et 0,81 montrant une très bonne structurée autour de la race botanique. La structuration génétique totale par l'utilisation des marqueurs microsatellites est dans l'ensemble faible. Barro-Kondombo (2010) a obtenu un  $F_{ST} = 0,06$ , Nebié, (2014) a obtenu un  $F_{ST} = 0,069$  et Sawadogo, (2015) a obtenu un  $F_{ST} = 0,053$ .

## **CHAPITRE II. EVALUATION DE LA DIVERSITE AGROMORPHOLOGIQUE**

### **INTRODUCTION**

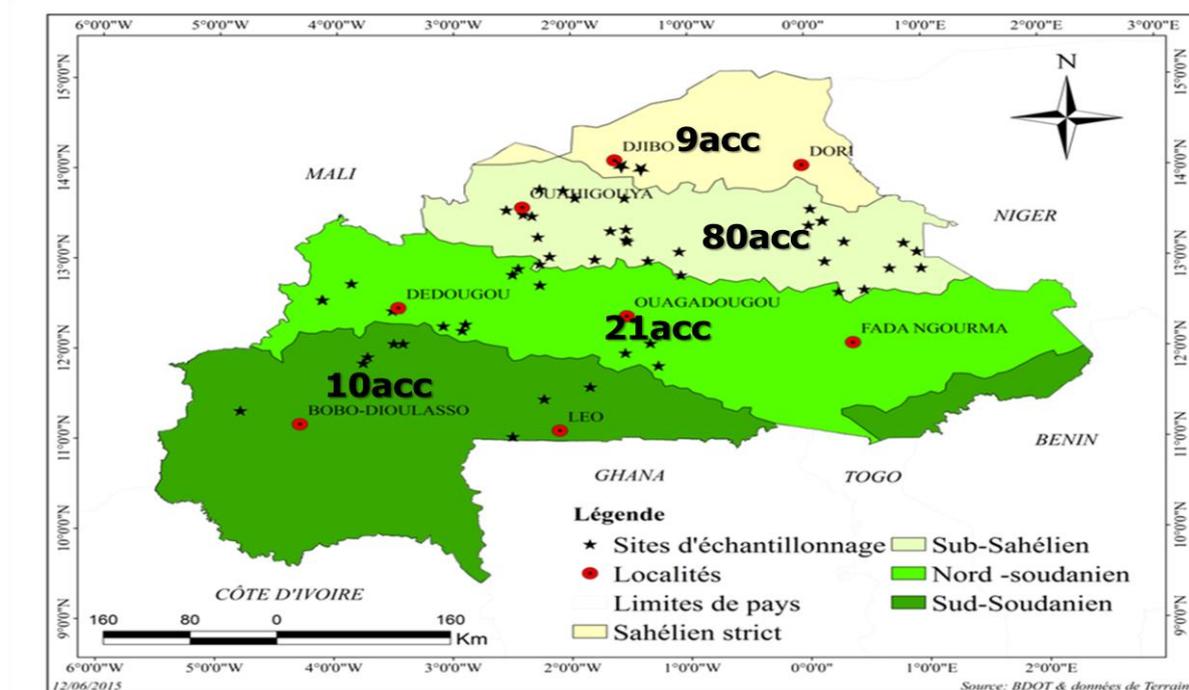
Les accessions de sorgho grains de cette présente étude ont été évaluées sur le plan agromorphologique depuis plus de 25 ans (Zongo, 1991) et sont conservées dans le germoplasme en vue de préserver leur diversité génétique. L'expression du phénotype étant le résultat de l'action combinée du génotype, de l'environnement et de l'interaction génotype et environnement, l'utilisation de ces accessions dans l'environnement actuel, changeant, nécessite une actualisation des données de ces accessions. La caractérisation et l'évaluation du germoplasme constituent un préalable à l'utilisation de la diversité disponible dans le programme d'amélioration de toute culture (Pradhakar et Reddy, 2007). L'objectif de la valorisation des produits de collecte ne peut être atteint que si les collections sont décrites, évaluées pour permettre aux utilisateurs potentiels de choisir les génotypes à priori intéressants (Gaouna, 2012).

L'objectif de la caractérisation agromorphologique, est de mieux cerner les performances des accessions dans le contexte actuel de changement climatique d'une part, et d'autre part de déterminer et structurer la variabilité inter-variétale du germoplasme afin de l'utiliser dans l'amélioration génétique des variétés de sorgho du Burkina Faso.

### **I. MATÉRIELS ET MÉTHODE**

#### **1.1. Matériel végétal**

Le matériel végétal, composé de 120 accessions, provient du germoplasme de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO. La collection a été réalisée entre 1984 et 1986 dans le cadre de la préservation de la biodiversité des sorghos du Burkina Faso. Un examen du germoplasme en 2008 a permis d'identifier 399 accessions viables. L'échantillon de cette présente étude a été constitué à partir de ces dernières de façon aléatoire en respectant le principe de neutralité (Figure 7). Afin que tous les territoires soient représentés, le tirage s'est effectué par région et la représentation de chaque accession dans l'échantillon est proportionnelle à sa représentativité dans la population de départ (Tableau 2).



**Figure 7 :** Carte d'origine des accessions étudiées en fonction des zones climatiques

Tableau 2 : Nombre d'accessions par région de prospection

Provenance des accessions	Accessions évaluées	Proportion dans le germoplasme
Nord	9	26
Nord-Ouest	52	153
Centre-Nord	13	32
Est	15	39
Centre-Sud	14	34
Centre-Ouest	2	2
Sud-Ouest	5	7
Ouest	10	29
Autres (origines indéterminées)	0	79

## 1.2. Site expérimental

L'étude s'est déroulée à la station expérimentale de Gampèla située à 12°24'29" de Latitude Nord et à 1°21'9,6" de Longitude Ouest, pendant la campagne agricole 2010 de juillet à novembre. L'évaluation dans un seul site ne permet pas de mesurer avec précision, l'effet de l'environnement sur les accessions, mais a l'avantage de mettre les accessions dans le même site de leur première évaluation et ainsi, de voir l'évolution de leur performance.

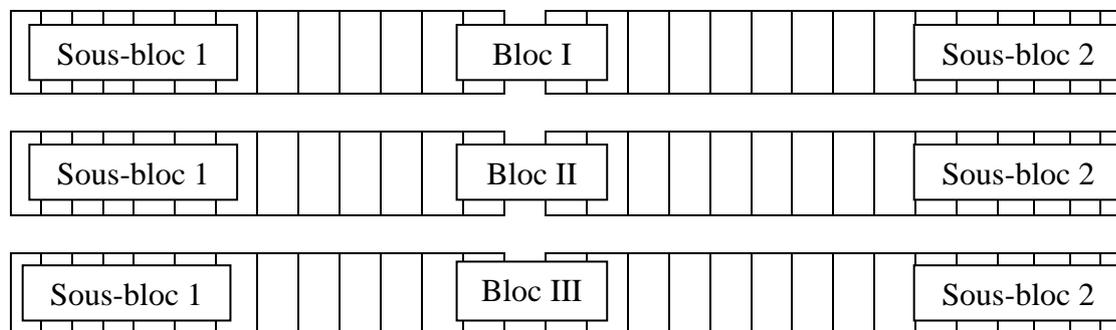
Les sols de Gampèla appartiennent au groupe des sols ferrugineux plus ou moins lessivés représentatifs du plateau central (Bunasol, 1988). Ces sols se sont développés sur des matériaux riches en argile kaolinique présentant un horizon de surface pauvre en matière organique. A ce premier horizon, succèdent deux horizons et un troisième horizon constitué

d'une carapace imperméable et compacte. Il est noté la présence d'une mésofaune, représentée essentiellement par les termites, qui jouent un rôle actif dans la structure et la texture du sol.

Le climat de la zone est du type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance de saisons, à savoir une saison de pluies qui s'étend de juin à octobre et une saison sèche de novembre à mai (Guinko, 1984). L'analyse des relevés pluviométriques fait ressortir une baisse sensible des hauteurs d'eau ces dernières années. Les températures moyennes ont oscillé entre 35 °C et 40 °C pendant les mois pluvieux pour les maximums et entre 18 °C et 19 °C pour les minimums (Guinko, 1984). Pendant la campagne agricole de 2010, une pluviométrie de 832,7 mm a été enregistrée et les températures ont oscillé entre 23 et 35 °C ont été relevées à la direction nationale de météorologie de Ouagadougou.

### 1.3. Dispositif expérimental

Les semis sont réalisés selon un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. Chaque bloc est subdivisé en deux sous-blocs. Les blocs et les sous-blocs sont séparés entre eux par une allée de 2 m. Chaque bloc comporte 120 échantillons. Chaque sous-bloc est constitué de 60 échantillons bordés de part et d'autre par deux lignes d'accessions servant de bordure. Chaque sous-bloc mesurait 50,4 m de long et 4 m de large. L'interligne était de 0,8 m et l'écartement de 0,4 m sur la ligne (Figure 8).



**Figure 8 :** *Dispositif expérimental*

### 1.4. Techniques culturales

Les semis ont eu lieu après l'installation de la saison pluvieuse en juillet. La mise en place de l'essai a été réalisée en deux dates de semis les 9 et 31 juillet 2010 sur une parcelle labourée et amendée avec de l'engrais NPK (15-15-15) à la dose de 100 kg/ha pendant le labour. Le démariage, à un plant par poquet, a été effectué deux semaines après semis. Trois sarclages ont été réalisés, le premier deux semaines après semis, le deuxième au stade montaison et le dernier au stade gonflement, afin de lutter contre les adventices. Un buttage a été réalisé au stade gonflement afin de protéger les plantes contre l'action du vent et de

préserver l'humidité du sol. Un apport d'urée à la dose 50 kg/ha a été réalisé concomitamment au buttage.

### 1.5. Collecte des données

La collecte de données s'est étalée sur toute la période de développement des plantes, de la germination à la maturité. Les différentes observations et mensurations ont porté sur des variables morphologiques et agronomiques réparties en des caractères qualitatifs et quantitatifs.

Dix caractères qualitatifs ont été relevés par observations directes, avec des variantes définies pour chaque caractère. Les observations sont notées sur tous les plants de la ligne.

Au stade plantule, la couleur (CPL) et la vigueur de la plantule (VIP).

Au stade maturité physiologique (grain pâteux), les variables suivantes ont été observées :

- ✓ La couleur des grains (CGR) et la couleur des glumes (CGL), faites sur toute la ligne par simple observation ;
- ✓ La pilosité de la glume (PGL) évalue la présence et la densité des poils de la glume, elle est glabre, faiblement pileuse ou fortement pileuse selon les accessions ;
- ✓ Le type botanique (TBO) a été obtenu selon la clé de Harlan et De Wet (1972) sur le terrain, avant la récolte et confirmé au laboratoire ;
- ✓ L'aristation (ART) caractère lié à la présence ou l'absence d'un filament noir ou arête au niveau de la glumelle inférieure est déterminée par observation sur panicule ;
- ✓ La compacité de la panicule (CPA) qui décrit la forme de la panicule en position naturelle (lâche, semi-compacte et compacte) ;
- ✓ Le type de pédoncule (TPD) décrit la forme du pédoncule, droite ou courbée (cross) par rapport à l'axe de la tige ;
- ✓ La texture de l'endoderme (TED) mesure les importances relatives de l'amidon farineux et de l'amidon vitreux. Il a été estimé selon l'échelle de BONO (0-4) : 0 pour des grains totalement farineux, 1 pour les plutôt farineux (farineux à plus de 50 %), 2 pour les vitreux à 50 %, 3 pour les plutôt vitreux (vitreux à plus de 50 %), 4 pour les grains entièrement vitreux.

Seize variables quantitatives ont été mesurées et leur appréciation a nécessité l'usage du système métrique. Il s'agit de :

- ✓ Le nombre de jours à la levée (NJL) correspond au nombre de jours qui séparent le semis de la levée d'au moins 50 % des poquets ;

✓ Le tallage végétatif (TAV) et utile (TAU) ont été relevés au stade montaison par comptage de nombre de talles par poquet ;

✓ Nombre de jours à l'apparition de la feuille drapeau de 50 % de plants (SFD<sub>50</sub>), correspond au nombre de jours qui séparent le semis à l'apparition de la ligule de la feuille drapeau de 50 % d'individus de la ligne ;

✓ Nombre de jours à l'apparition de la feuille drapeau de 100 % de plants (SDF<sub>100</sub>), correspondant au nombre de jours moyen qui séparent le semis à l'apparition de la ligule de la feuille drapeau de tous les individus de la ligne ;

✓ Le nombre de jours à la floraison de 50 % de plants (NJF<sub>50</sub>) correspond au nombre de jours qui séparent le semis de la floraison de 50 % des panicules principales de l'accession ;

✓ Le nombre de jours à la floraison de 100 % de plants (NJF<sub>100</sub>) correspond au nombre de jours moyen qui séparent le semis de la floraison de 100 % des panicules principales de l'accession ;

Les variables quantitatives ci-dessus ont été faites sur tous les plants de la ligne (Figure 9). Les variables suivantes sont faites sur quatre pieds choisis de façon aléatoire, en excluant les individus en bordure des lignes. Il s'agit de :

✓ La longueur de la feuille (LOF) et la largeur de la feuille (LAF) mesurées sur la 3<sup>e</sup> feuille sous paniculaire ;

✓ La hauteur de la plante à maturité (HPM), obtenue en mesurant la distance qui sépare le sol du sommet de la panicule ;

✓ La longueur (LOP) et la largeur (LAP) de la panicule, mesurées à la maturation de la panicule ;

✓ Le nombre d'entre-nœuds (NEN), obtenu sur la tige principale, donne le nombre d'entre-nœuds extérieurs au sol ;

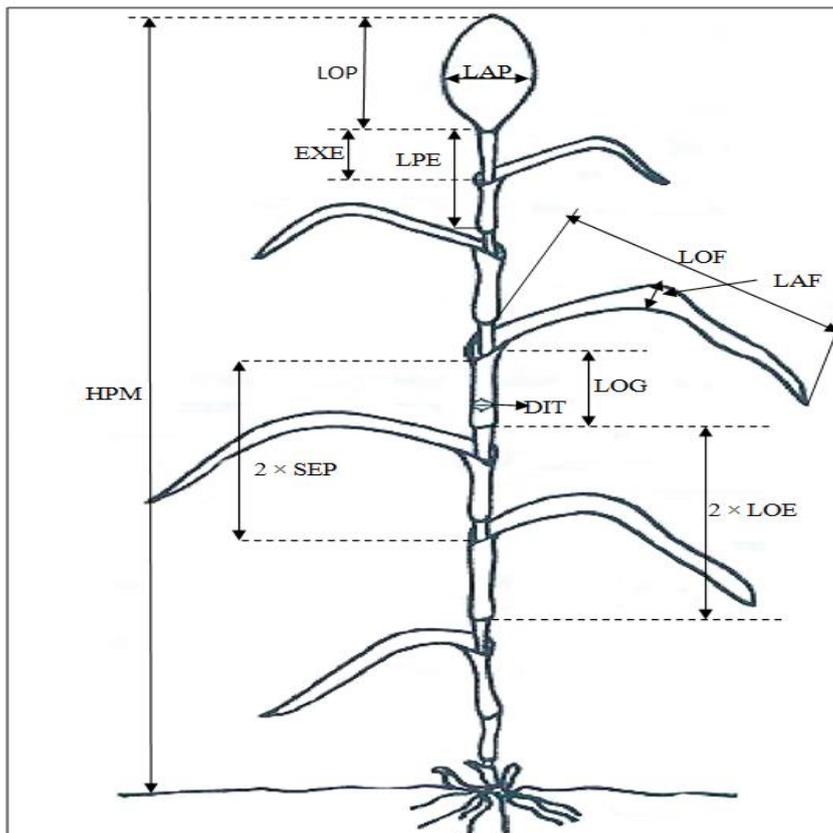
✓ Le diamètre de la tige (DIT), relevé à la maturation des plantes au niveau du quatrième entre-nœud à l'aide d'un pied à coulisse.

Toutes les variables quantitatives ci-dessus ont été relevées au champ, celles ci-dessous sont observées au laboratoire. Elles ont été faites sur les quatre pieds sur lesquels les mensurations ont été préalablement réalisées. Il s'agit de :

✓ Le poids de la panicule principale (PPP) obtenu en pesant la panicule principale des individus par répétition ;

✓ Le poids des panicules de la plante entière (PPE) est obtenu en pesant l'ensemble des panicules d'individu par répétition ;

- ✓ Le poids des grains de la panicule principale (GPA) est obtenu sur les panicules principales dans les répétitions au stade grains mûrs, battues et pesées ;
- ✓ Le poids des grains de la plante entière (GPL) est obtenu sur l'ensemble de panicules portées par un pied dans chaque répétition, battues et pesées ;
- ✓ Le poids de cent grains (PCG) est déterminé à partir de quatre échantillons aléatoirement pris dans le lot de grains ayant servi à la détermination de la GPL.



**Figure 9 :** Variables agromorphologiques observées chez le sorgho

## 1.6. Analyse des données

L'analyse de variance (ANOVA), réalisée sur les variables quantitatives, a permis, de savoir s'il existe des différences significatives entre les accessions et entre les différentes zones. Dans les conditions d'utilisation de tests paramétriques, la distribution de la variable doit être Normale. Dans certains cas, une transformation logarithmique a été nécessaire afin de normaliser cette distribution. Le coefficient de variation (CV) a permis d'apprécier les niveaux de variation des moyennes observées entre les accessions pour chaque caractère. Les corrélations ont permis de vérifier les liaisons deux à deux entre variables.

L'ensemble des accessions a été par la suite soumis à l'Analyse en Composante Principale (ACP), pour permettre les regroupements entre les variables puis, les caractères bien représentés ont servi à réaliser la classification ascendante hiérarchique (CAH) des accessions

sur la base de la distance de Ward entre les individus. L'analyse factorielle discriminante (AFD) a permis de caractériser les groupes issus de la CAH et de déterminer les variables discriminantes.

Pour l'ensemble des caractères, les paramètres génétiques ont été estimés à partir des composantes de l'analyse de variance. Ceux-ci ont été calculés selon les formules utilisées par Assefa *et al.* (2001), Rex (2002), Hosseini *et al.* (2012) ci-dessous.

- Variance génotypique :  $VG = \frac{(MSG - MSE)}{r}$  .
- Variance phénotypique :  $VP = VG + \frac{MSE}{r} = \frac{MSG}{r}$  ;
- Héritabilité au sens large :  $H^2 = \frac{VG}{VP} \times 100$  ;
- Coefficient de variation génotypique :  $GCV (\%) = \frac{\sqrt{VG}}{X} \times 100$  ;
- Coefficient de variation phénotypique :  $PCG (\%) = \frac{\sqrt{VP}}{X} \times 100$  ;

*MSG* : carré moyen des génotypes ; *MSE* : carré moyen de l'erreur ; *r* : nombre de répétition ;  $\sqrt{VG}$  : écart-type de la variance génotypique ;  $\sqrt{VP}$  : écart-type de la variance phénotypique.

Les logiciels Genstat version 10.3, XLSTAT-Pro 7.1 et Excel 2008 ont été utilisés pour ces différentes analyses.

## II. RESULTATS

### 2.1. Evaluation des variables qualitatives

Le tableau 3 montre l'existence d'une importante diversité entre les accessions pour ces variables. Pour la couleur des plantules, les vertes sont plus prépondérantes avec une proportion de 79,17 %, suivis des violettes avec 20 % et des jaunes représentant moins de 1 %. Les accessions aux glumes noires représentant 75 %, suivis à la fois des accessions aux glumes rouges et pailles avec chacune 12,5 %. Le groupe d'accessions à grains blancs représentent 77,5 % de l'échantillon, alors que celles à grains rouges, à grains bruns et à grains gris représentent respectivement 15,83 %, 4,17 % et 2,5 %. La plupart des accessions (63,33 %) sont dotées de longues arêtes et une minorité soit 12,5 % d'accessions sont dépourvues d'arêtes.

Environ 77 des accessions sont à égrainage facile, alors que seulement 3,7 % sont à égrainage difficile. Environ 55,83 % d'accessions possèdent des poils au niveau des glumes dont 51,67 % faiblement velues et seulement 4,167 fortement velus. Sur la base de la clé de

détermination de Harlan et De Wet (1972), il y a une prédominance des accessions de la race *guinea* (77,5 %).

Tableau 3 : Répartition des 120 accessions de sorgho pour les caractères qualitatifs étudiés

Caractères analysés	Modalités	Total	Fréquence %
CPL	Verte	95	79,17
	Violette	24	20
Couleur des plantules	Jaune	1	0,83
	<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>
CGL	Rouge	15	12,5
	Noire	90	75
Couleur de la glume	Paille	15	12,5
	<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>
CGR	Blanc ivoire	34	28,33
	Blanc mat	59	49,17
Couleur des graines	Rouge sombre	12	10
	Rouge claire	7	5,83
	Brune	5	4,17
	Grise	3	2,5
	<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>
ARE	Absente	15	12,5
Taille de l'arête	Courte	29	24,17
	Longue	76	63,33
	<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>
EGN	Facile	83	76,85
	Moyen	21	19,44
Egrenage	Difficile	4	3,704
	<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>100</b>
PLG	Absente	53	44,17
	Faible	62	51,67
Pilosité de la glume	Forte	5	4,17
	<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>
TBO	<i>Guinea</i>	93	77,5
	<i>Durra</i>	17	14,17
Type botanique	<i>Bicolor</i>	5	4,17
	<i>Caudatum</i>	5	4,17
	<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100</b>

## 2.2. Evaluation des variables quantitatives

### 2.2.1. Evaluation des performances des accessions

Le tableau 4 présente les résultats des performances des accessions pour les caractères étudiés à partir des deux dates de semis. Il existe de très grands coefficients de variation pour les facteurs de rendements dont le poids de la panicule principale (PPP), le poids des panicules de la plante (PPE), le poids des grains de la panicule principale (PGP) et le poids des grains de la plante entière (PGE). Les coefficients de variation sont aussi très élevés pour le tallage utile et végétatif (TAU et TAV), la largeur de la feuille (LAF) et le nombre de

panicules par plant (NPP) traduisant la dispersion des valeurs de ces variables autour de la moyenne.

L'analyse de variance montre des différences hautement significatives ( $P = 0,1 \%$ ) au sein de l'échantillon pour la plupart des caractères étudiés sauf pour le tallage utile (TAU) la largeur des feuilles (LAF), le diamètre de la tige (DIT) et la largeur de la panicule (LAP).

La plus grande partie de cette variabilité est expliquée par le facteur «accessions» avec un coefficient de détermination  $R^2 \geq 36,3 \%$ . Ces accessions émettent en moyenne 0,67 talles végétatives en semis normal contre 1,61 lors d'un retard de semis et 0,34 talles productives en semis normal contre 0,23 en semis tardif. La hauteur des plantes varie de 1,8 à 4,7 m en semis normal contre 1,47 à 3,56 m lors d'un retard de semis avec des tiges épaisses en moyenne de 2,21 en semis normal contre 2,2 lors du retard et ces tiges possèdent de 7 à 19,3 entre-nœuds en semis normal contre 6,78 à 13,4 en semis tardif.

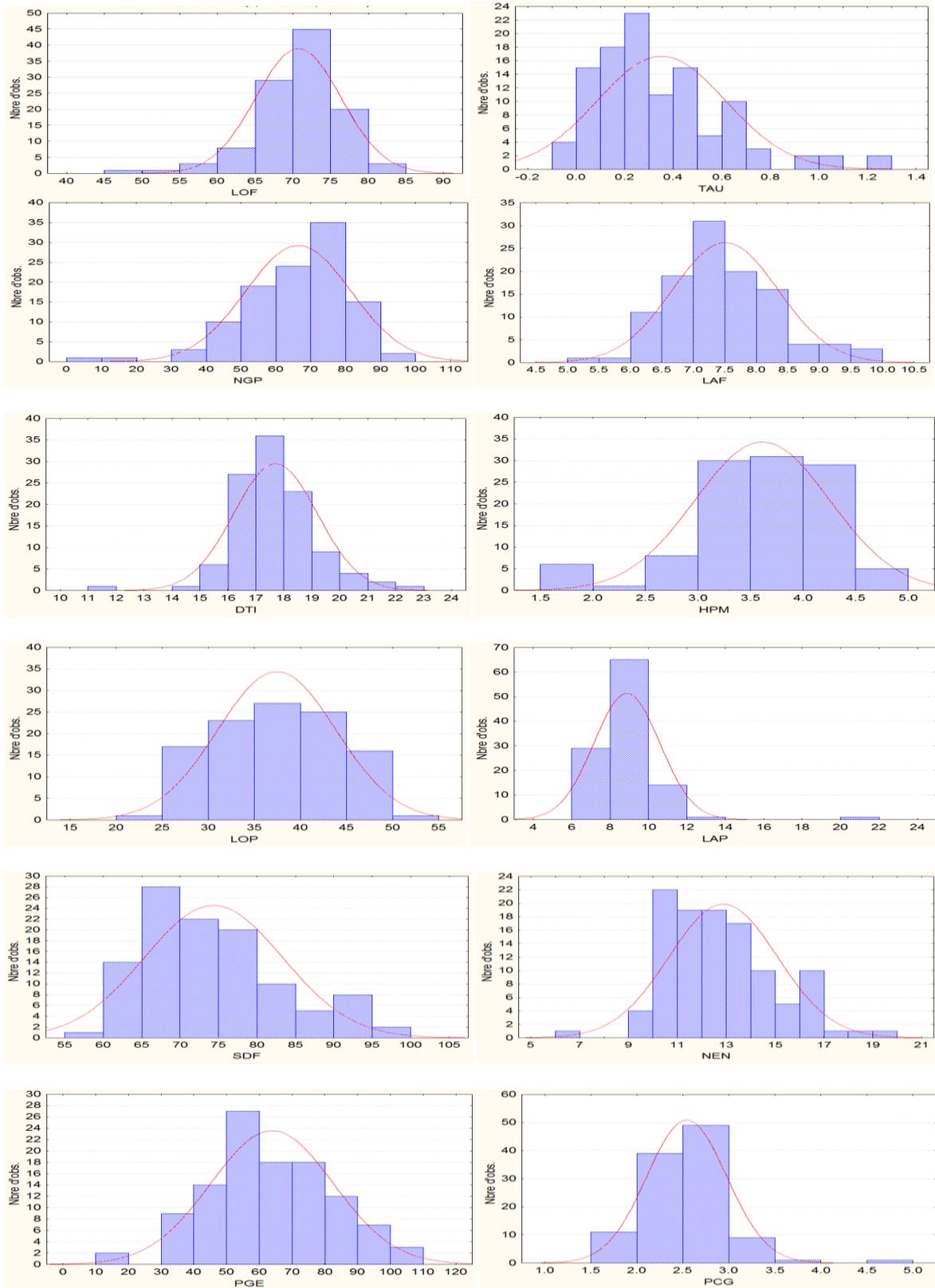
Les dimensions des feuilles, pour la longueur, varient entre 45,7 et 81,5 cm en semis normal contre 46,1 et 81,4 cm en semis tardif et pour la largeur varient de 5,28 à 24,4 cm en semis normal contre 3,6 à 9,43 cm. Le cycle semis-apparition de la feuille drapeau varie de 60 à 101 jours en semis normal contre 58,4 à 87,9 jours en semis tardif. Enfin, les accessions perdent entre 9,68 à 95,7 grains par panicule lors d'un retard de semis de 21 jours.

Tableau 4 : Résultats de l'analyse de variances des variables quantitatives

Caractères	Minimum		Maximum		Moyenne		CV (%)		R <sup>2</sup> (%)	F value
	1 <sup>ère</sup> date	2 <sup>e</sup> date								
DIT	1,12	1,04	2,21	2,2	1,77	1,58	8,63	13	37,8	1,21 <sup>ns</sup>
HPM <sub>(m)</sub>	1,8	1,47	4,7	3,56	3,61	2,6	17,3	17,3	78	7,08 <sup>***</sup>
LAF <sub>(m)</sub>	5,28	3,6	24,4	9,43	7,67	6,5	24,7	15,6	38,2	1,24 <sup>ns</sup>
LAP <sub>(m)</sub>	6,2	5,89	21,5	18,8	8,84	11,4	19,4	24	36,3	1,14 <sup>ns</sup>
LOF <sub>(m)</sub>	45,7	46,1	81,5	81,4	70,4	66,3	8,17	10,2	50,1	2,01 <sup>***</sup>
LOP <sub>(m)</sub>	21,4	21,3	50,5	50,3	37,3	36	17	17,3	72,6	5,29 <sup>***</sup>
NEN	7	6,78	19,3	13,4	13,1	9,25	18	16,9	80,4	8,23 <sup>***</sup>
NJF <sub>100%</sub>	65	47,7	103	92,4	79,6	73,3	12,3	10,1	96,2	50,6 <sup>***</sup>
NJF <sub>50%</sub>	64	63	104	96,3	79,2	76	12,6	10,4	95,5	42,1 <sup>***</sup>
NPP	1	1	3,11	2,33	1,53	1,35	29,2	24,7	43,2	1,52 <sup>**</sup>
PGE <sub>(g)</sub>	3,84	1,69	107	55,6	60,4	20	34,9	46,7	47,7	1,83 <sup>***</sup>
PGP <sub>(g)</sub>	3,56	1,67	91,5	55,6	53,6	19,6	31,1	47,1	53,5	2,3 <sup>***</sup>
PPE <sub>(g)</sub>	23,3	17,3	152	77,8	85,8	34	29,1	31,1	39,4	1,3 <sup>*</sup>
PPP <sub>(g)</sub>	21,5	15,4	120	77,8	74,9	32,9	24,2	32	45,7	1,69 <sup>***</sup>
SDF <sub>100%</sub>	60	58,4	101	87,9	75,7	69,4	13,4	10,1	95,9	46,7 <sup>**</sup>
SDF <sub>50%</sub>	59	57,7	101	93	75,2	72,21	13,9	11	95,6	43,2 <sup>***</sup>
TAU	0	0	1,25	0,95	0,34	0,23	77,6	77,8	37,5	1,2 <sup>ns</sup>
TAV	0,06	0,07	1,81	3,5	0,67	1,61	54	47,2	42	1,45 <sup>**</sup>
NGP	9,68	-	95,7	-	66,1	-	22,8	-		
PCG <sub>(g)</sub>	1,62	-	4,58	-	2,53	-	17	-		

<sup>ns</sup> : non significatif ; différence : \*p<0,05 ; \*\*P<0,01 ; \*\*\*p<0,001 ; DTI : diamètre de la tige ; HPM : hauteur de la plante à maturité ; LAF : largeur de la feuille ; LAP : largeur du panicule ; LOF : longueur de la feuille ; LOP : longueur du panicule ; NEN : nombre d'entre-nœuds ; NJF<sub>100%</sub> : nombre de jours à la floraison de 100% des plants ; NJF<sub>50%</sub> : nombre de jours à la floraison de 50% des plants ; NPP : nombre de panicules par pied ; PGE : poids des grains des panicules entières du pied ; PGP : poids des grains de la panicule principale ; PPE : poids des panicules entières du pied ; PPP : poids de la panicule principale ; SDF<sub>50%</sub> : nombre de jours semis apparition de la feuille drapeau de 50% des pieds ; SDF<sub>100%</sub> : nombre jours apparition de la feuille drapeau de 100% des pieds de la ligne ; TAV : tallage végétatif ; TAU : tallage utile ; NPP : nombre de panicule par pied ; NGP : nombre de grains de la panicule principale ; PCG : poids cent grains ; g : gramme ; m : mètre ; R<sup>2</sup> :coefficient de détermination.

Les histogrammes de distribution de la variation (Figure 10), montrent une distribution uni-modale pour tous les caractères étudiés. Une distribution de cette nature indique que les observations ont été faites sur une population homogène et non sur un mélange de populations. Celle-ci suit une loi normale pour la longueur et la largeur des feuilles (LOF et LAF), le nombre de grains perdus par accessions (NGP), la longueur de la panicule (LOP), le cycle (SDF) et le rendement de la plante entière (PGE). Elle est cependant asymétrique pour la taille des plantes (HPM), le nombre d'entrenœuds (NEN), la largeur de la panicule (LAP), le poids de cent grains (PCG) et le tallage utile (TAU).



**Figure 10 :** *Distribution des variables des accessions : ajustement d'une distribution normale.*

### **2.2.2. Analyse des accessions selon les zone agro-climatique, région géographique, caractéristiques photopériodiques et race botanique**

Les valeurs des coefficients de détermination ( $R^2$ ) et du F de Fisher-Snedecor consignées dans le tableau 5 permettent de voir que le facteur accession ( $R^2 \leq 36,3 \%$ ) explique mieux et de loin la variance de tous les caractères que les facteurs zone agro-climatique ( $R^2 \leq 5,58 \%$ ), région géographique ( $R^2 \leq 8,48$ ), coefficient de photopériodisme ( $0,13 \% \leq R^2 \leq 65,9 \%$ ) et race botanique ( $R^2 \leq 8,1 \%$ ). Cependant, le facteur coefficient de photopériodisme explique mieux la variance de la plupart des caractères que les facteurs zone agro-climatique, région géographique et race botanique. Ainsi le facteur coefficient de photopériodisme explique 28,7 % du nombre d'entreœuds (NEN), 48,3 % du cycle semis floraison (NJF), 48,5 % du cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF), 26,1 % du poids de cent grains (PCG) et 16,3 % de la hauteur des plantes (HPM). Le facteur race botanique a des valeurs du coefficient de détermination ( $R^2$ ) faibles, mais il explique mieux la variance du caractère hauteur de la plante (14,8 %) que le coefficient de photopériodisme (1,02 %), la région géographique (5,55 %) et la zone agro-climatique (0,72 %).

D'autre part l'analyse de variance du facteur accession montre un effet significatif sur l'expression d'un plus grand nombre de caractères (14/18 caractères) que la zone agro-climatique (10/18), la région géographique (13/18) et la race botanique (4/18). Cependant, il montre un effet significativement égal au coefficient de photopériodisme (14/18).

Tableau 5 : Influence des facteurs sur la variation des caractères

Caractères	Accessions		Zone agro-cli		Région géo		Coeff photo		Race botanique	
	R <sup>2</sup>	F value								
DIT	<b>37,8</b>	1,21 <sup>ns</sup>	0,74	0,88 <sup>ns</sup>	4,11	1,66 <sup>ns</sup>	2,13	3,56*	6,04	2,99*
HPM	<b>78</b>	7,08***	5,58	6,97**	6,86	2,85**	<b>16,3</b>	31,8***	<b>12,1</b>	6,38***
LAF	<b>38,2</b>	1,24 <sup>ns</sup>	0,72	0,86 <sup>ns</sup>	5,55	2,27*	1,02	1,69 <sup>ns</sup>	<b>14,8</b>	8,10***
LAP	<b>36,3</b>	1,14 <sup>ns</sup>	0,12	0,15 <sup>ns</sup>	0,84	0,33 <sup>ns</sup>	3,56	6,05**	3,96	1,91 <sup>ns</sup>
LOF	<b>50,1</b>	2,01***	0,38	0,45 <sup>ns</sup>	1,20	0,47 <sup>ns</sup>	2,98	5,04**	0,77	0,36 <sup>ns</sup>
LOP	<b>72,6</b>	5,29***	4,95	6,14***	5,44	2,22*	4,31	7,38**	10,9	5,68***
NEN	<b>80,4</b>	8,23***	1,79	2,15 <sup>ns</sup>	5,57	2,28*	<b>28,7</b>	65,9***	3,29	1,58 <sup>ns</sup>
NJF <sub>100%</sub>	<b>96,2</b>	50,6***	2,70	3,28*	6,98	2,90**	<b>48,3</b>	153***	4,71	2,30 <sup>ns</sup>
NJF <sub>50%</sub>	<b>95,5</b>	42,1***	2,53	3,06*	6,45	2,67**	<b>46,6</b>	143***	4,66	2,27 <sup>ns</sup>
NPP	<b>43,2</b>	1,52**	0,33	0,39 <sup>ns</sup>	4,57	1,85 <sup>ns</sup>	0,13	0,22 <sup>ns</sup>	3,87	1,87 <sup>ns</sup>
PGE	<b>47,7</b>	1,83***	3,58	4,39**	8,48	3,58***	<b>11,2</b>	20,6***	1,26	0,59 <sup>ns</sup>
PGP	<b>53,5</b>	2,3***	3,73	4,57**	6,59	2,73**	<b>13,8</b>	26,3***	1,75	0,83 <sup>ns</sup>
PPE	<b>39,4</b>	1,3*	2,50	3,02*	8,25	3,47***	5,79	10,1***	0,40	0,19 <sup>ns</sup>
PPP	<b>45,7</b>	1,69***	3,37	4,12**	4,63	1,88 <sup>ns</sup>	8,30	14,8***	0,89	0,42 <sup>ns</sup>
SDF <sub>100%</sub>	<b>95,9</b>	46,7**	2,80	3,40*	7,68	3,22**	<b>48,5</b>	154***	4,55	2,22 <sup>ns</sup>
SDF <sub>50%</sub>	<b>95,6</b>	43,2***	2,61	3,17*	7,15	2,98**	<b>46,5</b>	142***	4,46	2,17 <sup>ns</sup>
TAU	<b>37,5</b>	1,2 <sup>ns</sup>	1,04	1,24 <sup>ns</sup>	<b>10,1</b>	4,35***	0,81	1,34 <sup>ns</sup>	2,67	1,28 <sup>ns</sup>
TAV	<b>42</b>	1,45**	0,62	0,74 <sup>ns</sup>	7,00	2,91**	0,30	0,49 <sup>ns</sup>	2,36	1,13 <sup>ns</sup>

*Coeff photo : coefficient de photopériodisme ; agro-cli : agro-climatique ; géo : géographique*

### 2.2.3. Relation entre les caractères

La matrice de corrélation présentée dans le tableau 6 montre des corrélations plus ou moins importantes entre les caractères au seuil de 5 % et de 1 %. Plus de 76 % des corrélations significatives ont des coefficients de corrélation faible ( $r \leq 0,5$ ). De très fortes corrélations positives existent cependant entre le tallage utile et végétatif ( $r = 0,83$ ), le cycle semis-floraison et semis-apparition de la feuille drapeau ( $r = 0,99$ ) et le rendement de la panicule principale et le rendement des panicules de la plante entière (0,93).

Le diamètre de la tige (DIT) est fortement et positivement corrélé à la longueur et à la largeur des feuilles (LOF et LAF) avec des coefficients de corrélation  $r = 0,51$  et  $r = 0,312$ , respectivement. Le cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF) fortement et positivement corrélé au nombre d'entre-nœuds (NEN) avec  $r = 0,9$ , à la hauteur de la plante (HPM) avec  $r = 0,53$  et au diamètre de la tige (DIT) avec  $r = 0,334$ . Il est négativement corrélé au rendement de la plante entière (PGE) avec  $r = -0,59$ .

La longueur de la panicule (LOP) est positivement corrélée au seuil de 1 % avec la hauteur de la plante (HPM ;  $r = 0,6$ ) et la longueur de la feuille (LOF ;  $r = 0,49$ ). Il est cependant faiblement corrélé au seuil de 5 % au cycle semis-floraison (NJF ;  $r = 0,19$ ).

Le rendement de la plante entière (PGE) est négativement corrélé à la hauteur de la plante à maturité (HPM ;  $r = -0,24$ ) et au nombre d'entre-nœuds (NEN ;  $r = -0,49$ ). Il est cependant positivement mais faiblement corrélé à la longueur de la feuille (LOF ;  $r = 0,28$ ), au diamètre de la tige (DIT ;  $r = 0,2$ ) et au nombre de panicules par poquet (NPP ;  $r = 0,22$ ).

Tableau 6 : Matrice de corrélation entre les caractères étudiés

	TAV	TAU	LOF	LAF	DIT	HPM	LOP	LAP	NPP	NEN	PPP	PPE	PGP	PGE	SDF <sub>100%</sub>	SDF <sub>50%</sub>	NJF <sub>100%</sub>	NJF <sub>50%</sub>	
TAU	<b>0,832**</b>																		
LOF	<b>0,217*</b>	<b>0,226*</b>																	
LAF	-0,011	0,003	<b>0,265**</b>																
DIT	0,064	0,147	<b>0,513**</b>	<b>0,312*</b>															
HPM	<b>0,292*</b>	0,125	<b>0,354**</b>	-0,135	-0,022														
LOP	<b>0,289</b>	<b>0,217*</b>	<b>0,488**</b>	-0,058	-0,031	<b>0,598**</b>													
LAP	-0,031	-0,002	<b>0,326**</b>	0,144	<b>0,428**</b>	0,086	-0,035												
NPP	<b>0,403*</b>	<b>0,432*</b>	0,016	-0,162	-0,088	0,023	0,174	-0,160											
NEN	0,153	-0,023	<b>0,273**</b>	0,167	<b>0,488**</b>	<b>0,479**</b>	0,144	<b>0,311**</b>	<b>-0,20*</b>										
PPP	0,039	<b>0,236*</b>	<b>0,384**</b>	0,109	<b>0,328**</b>	-0,148	0,001	<b>0,182*</b>	0,01	<b>-0,353**</b>									
PPE	<b>0,275*</b>	<b>0,514*</b>	<b>0,383**</b>	0,090	<b>0,349**</b>	-0,101	0,062	0,131	<b>0,28**</b>	<b>-0,294**</b>	<b>0,868**</b>								
PGP	0,001	<b>0,194*</b>	<b>0,245*</b>	0,058	0,168	<b>-0,288**</b>	-0,067	0,091	0,04	<b>-0,528**</b>	<b>0,950**</b>	<b>0,823**</b>							
PGE	0,170	<b>0,385*</b>	<b>0,281**</b>	0,058	<b>0,203*</b>	<b>-0,243*</b>	-0,017	0,076	<b>0,22*</b>	<b>-0,486**</b>	<b>0,898**</b>	<b>0,942**</b>	<b>0,93**</b>						
SDF <sub>100%</sub>	0,121	-0,103	<b>0,248*</b>	<b>0,190*</b>	<b>0,334**</b>	<b>0,527**</b>	0,174	<b>0,296**</b>	-0,17	<b>0,901**</b>	<b>-0,469**</b>	<b>-0,405**</b>	<b>-0,64**</b>	<b>-0,59**</b>					
SDF <sub>50%</sub>	0,135	-0,086	<b>0,248*</b>	<b>0,191*</b>	<b>0,335**</b>	<b>0,522**</b>	0,160	<b>0,290**</b>	-0,16	<b>0,903**</b>	<b>-0,463**</b>	<b>-0,396**</b>	<b>-0,64**</b>	<b>-0,58**</b>	<b>0,996**</b>				
NJF <sub>100%</sub>	0,129	-0,096	<b>0,260**</b>	<b>0,192*</b>	<b>0,330**</b>	<b>0,532**</b>	<b>0,188*</b>	<b>0,293**</b>	-0,15	<b>0,900**</b>	<b>-0,465**</b>	<b>-0,399**</b>	<b>-0,64**</b>	<b>-0,58**</b>	<b>0,998**</b>	<b>0,996**</b>			
NJF <sub>50%</sub>	0,133	-0,087	<b>0,258**</b>	<b>0,186*</b>	<b>0,326**</b>	<b>0,528**</b>	0,176	<b>0,289**</b>	-0,15	<b>0,899**</b>	<b>-0,464**</b>	<b>-0,395**</b>	<b>-0,64**</b>	<b>-0,58**</b>	<b>0,99**</b>	<b>0,996**</b>	<b>0,996**</b>		
PCG	-0,107	0,057	0,071	<b>-0,267**</b>	-0,047	-0,127	-0,025	-0,060	0,04	<b>-0,505**</b>	<b>0,504**</b>	<b>0,402**</b>	<b>0,54**</b>	<b>0,49**</b>	<b>-0,54**</b>	<b>-0,53**</b>	<b>-0,54**</b>	<b>-0,53**</b>	

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) ; ns : non significatif ; différence : \*  $p < 0,05$  ; \*\*  $P < 0,01$ .

Les cinq premiers axes factoriels ont été utilisés pour étudier la variabilité inter-accessions issue de la combinaison des 12 descripteurs quantitatifs retenus (Tableau 7). Ces cinq axes cumulés permettent la représentation de 80,78 % de la variabilité globale, dont 28,87 % pour l'axe 1 ; 19,17 % pour l'axe 2 ; 15,39 % pour l'axe 3 ; 9,68 % pour l'axe 4 et 7,67 % pour l'axe 5. Les variances des individus sur les axes principaux correspondants sont de 3,47 pour le 1<sup>er</sup> axe ; 2,3 pour le 2<sup>e</sup> ; 1,85 pour le 3<sup>e</sup> ; 1,16 pour le 4<sup>e</sup> et 0,92 pour le 5<sup>e</sup>.

Les principales contributions au premier axe factoriel proviennent de deux variables. Cet axe, qui explique 28,87 % de la variabilité globale, reflète le cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF, vecteur propre = 0,498) et le nombre d'entreœuds (NEN,  $r = 0,49$ ). La longueur de la feuille (LOF,  $r = 0,478$ ) et le rendement de la plante entière (PGE,  $r = 0,473$ ) contribuent principalement au deuxième axe factoriel qui explique 19,17 % de la variabilité globale.

Le troisième axe qui oppose la hauteur de la plante (HPM,  $r = 0,45$ ) et la longueur de la panicule (LOP,  $r = 0,46$ ) au diamètre de la tige (DIT,  $r = -0,41$ ) est celle des grandeurs (mensurations) et explique 15,39 % de la variabilité globale. Le quatrième axe est corrélé positivement au tallage utile (TAU,  $r = 0,46$ ) et négativement au poids de cent grains (PCG,  $r = -0,49$ ). Enfin, le cinquième axe, qui explique 7,67 %, est corrélé positivement à la largeur de la feuille (LAF,  $r = 0,67$ ) et négativement à la largeur de la panicule (LAP,  $r = -0,42$ ).

Tableau 7 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée pour les cinq premiers axes à partir des 13 variables quantitatives en analyse en composantes principales.

Composante principale	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	3,465	2,300	1,847	1,161	0,921
Variance totale (%)	28,87	19,17	15,39	9,675	7,675
Variance totale cumulée (%)	28,87	48,04	63,43	73,11	80,78
TAU	-0,03	0,42	0,16	<b>0,46*</b>	-0,17
LOF (cm)	0,24	<b>0,48*</b>	-0,05	-0,21	0,24
LAF (cm)	0,16	0,08	-0,38	0,29	<b>0,68*</b>
DTI (cm)	0,26	0,30	<b>-0,41*</b>	0,05	-0,20
HPM (cm)	0,32	0,13	<b>0,45*</b>	-0,24	0,00
LOP (cm)	0,17	0,29	<b>0,46*</b>	-0,19	0,34
LAP (cm)	0,22	0,17	-0,33	-0,20	<b>-0,42*</b>
NPP	-0,13	0,25	0,31	0,53	-0,24
NEN	<b>0,50*</b>	-0,06	-0,02	0,07	-0,19
PGE (g)	-0,27	<b>0,47*</b>	-0,19	-0,02	0,02
SDF <sub>100%</sub>	<b>0,50*</b>	-0,12	0,05	0,07	-0,11
PCG (g)	-0,31	0,25	-0,02	<b>-0,49*</b>	-0,15

\* = valeur significative

## 2.2.4. Organisation de la variabilité

### 2.2.4.1. Regroupement des accessions

La classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisée en utilisant les distances euclidiennes avec comme critère d'agrégation la méthode Ward, donne l'arbre de la figure 12. La variance intergroupe représente 58,06 % de la variance totale. La troncature au niveau 58,6 d'inertie, permet d'obtenir une partition des accessions en 5 groupes.

Le premier groupe est constitué de 30 accessions, le deuxième groupe de 10 accessions, le troisième groupe de 14 accessions, le quatrième groupe de 26 accessions enfin le cinquième de 31 accessions.

La première division a lieu sur la base de la taille (HPM) et du cycle semis-apparition de la ligule. Elle sépare le groupe 5 qui est particulièrement constitué des individus de très grande taille (HPM) et tardifs (SDF).

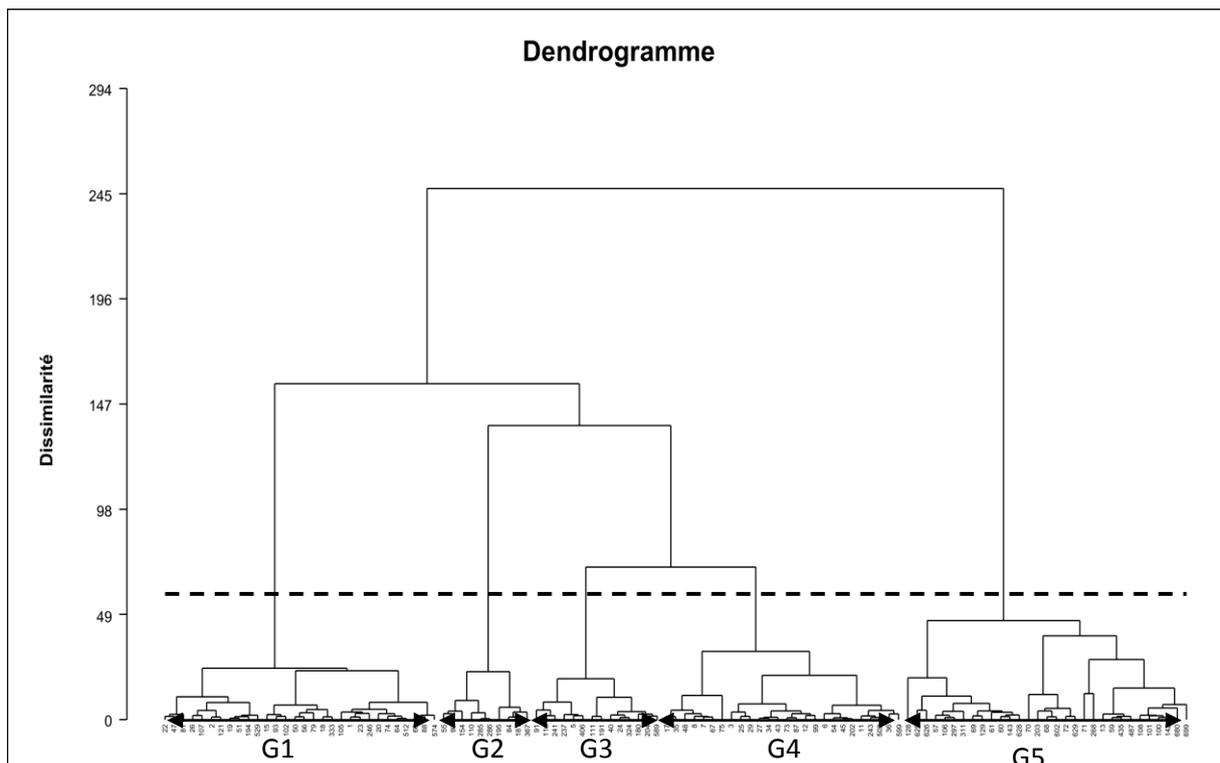


Figure 12 : Dendrogramme issu de la CAH des accessions de sorghos du Burkina Faso.

### 2.2.4.2. Caractérisation des groupes

La figure 13 avec 72,98 % de l'inertie totale montre la position des individus sur le plan  $\frac{1}{2}$  de l'Analyse Factorielle Discriminante. Ainsi l'axe 1 avec 65,19 % de l'inertie est celui du diamètre des tiges (DIT), l'axe 2 avec 23,49 % d'inertie associe la longueur de la panicule

(LOP) à la hauteur de la plante à maturité (HPM) et l'axe 3 avec 7,79 % de l'inertie associe le nombre d'entre-nœuds (NEN) au cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF).

L'AFD (Figure 13) réalisée sur ces groupes, suivant le test de Lambda de Wilks, donne un F observée de 20,95 alors que le F critique est de 1,41. Les groupes sont donc des entités différentes les unes des autres.

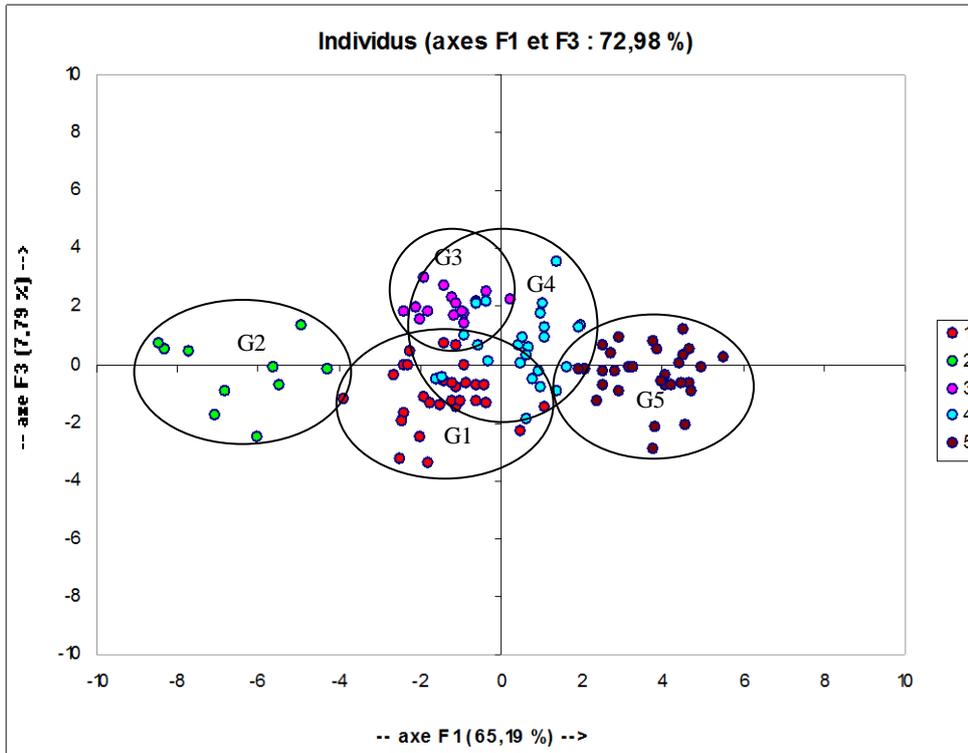


Figure 13 : Représentation des groupes sur l'axe 1/2 de l'AFD

Ces groupes sont caractérisés par les performances moyennes consignées dans le tableau 8. L'analyse de variance indique que les groupes présentent des différences significatives au seuil de 0,1 % pour tous les caractères étudiés. Les caractères les plus discriminants sont la hauteur de la plante à maturité (HPM) avec la valeur de la statistique F de Fisher de 101,06 ; le cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF), avec la valeur de la statistique F de Fisher de 77,08 et le nombre d'entre-nœuds (NEN) avec la valeur de la statistique F de Fisher de 76,62. Tous ces caractères présentent des différences significatives au seuil de 0,1 %.

Tableau 8 : Performances moyennes des groupes

Groupe	1	2	3	4	5	F observé	Signification de F
Fréquence	30	10	14	26	31		***
TAU	0,23	0,33	0,61	0,3	0,33	6,31	***
LOF	66,45	70,15	74,36	73,9	71,33	19,7	***
LAF	6,97	8,88	7,65	7,82	7,18	25,34	***
DTI	16,45	20,03	17,69	17,93	17,98	30,27	***
HPM	3,32	2,2	3,65	3,87	4,19	<b>101,06*</b>	***
LOP	33,92	28,23	41,33	39,35	40,94	20,34	***
LAP	8,01	9,84	8,43	8,92	9,22	7,51	***
NEN	11,21	13,18	11,25	12,81	15,91	<b>76,62*</b>	***
PGE	59,52	82,71	86,38	67,25	41,43	34,29	***
SDF <sub>100%</sub>	67,56	71,21	67,72	74,76	88,39	<b>77,08*</b>	***

\*= valeur significatives

Les positions des individus sur le plan 1/2 de l'AFD (Figure 13), permet de caractériser les groupes constitués comme suit :

- le groupe I est constitué par des accessions possédant de faibles valeurs pour la plupart des variables étudiées. C'est le groupe d'individus plus précoces, à faible nombre d'entre-nœuds et à faible rendement ;
- le groupe II est constitué par des accessions possédant de larges feuilles (LAF) avec de tiges volumineuses (DIT), mais de plus petite taille (HPM) avec de panicules plus courtes (LOP). C'est le groupe d'individus nains à tige épaisse ;
- le groupe III est celui des accessions les plus précoces (SDF) et les plus productifs (PGE). Ce groupe allie deux caractéristiques importantes pour la sélection ;
- le groupe IV est constitué d'accessions ayant des valeurs moyennes pour les variables étudiées ;
- le groupe V regroupe des accessions de grande taille (HPM), possédant de nombreux entre-nœuds (NEN), ils sont cependant les moins productifs (PGE) et les plus tardifs (SDF).

### 2.2.5. Estimation des paramètres génétiques des sorghos du Burkina Faso

Dans le tableau 9, sont consignés les résultats de l'estimation des paramètres génétiques. La valeur de la variance phénotypique varie de 0,03 à 178,3 pour ces caractères. La plupart des caractères montrent des variances phénotypiques élevées ( $V_P > 20$ ) alors que les caractères, diamètre de la tige (5,34), taille de la plante (0,29), largeur de la feuille (1,36), largeur paniculaire (2,76), tallage utile (0,03) et tallage végétatif (0,22) ont des valeurs de variances phénotypiques faibles ( $V_P < 6$ ). Les valeurs de la variance génotypique, quant à elle, varient de 0,01 pour le tallage utile à 100 pour le rendement grains par plante.

L'estimation de l'héritabilité au sens large qui indique le gain héritable attendu varie de 30 à 94,6 %. Les variables taille des plantes, longueur paniculaire, nombre d'entre-nœuds, cycle semis-floraison et semis-apparition de la feuille drapeau ont les plus grandes valeurs d'héritabilité ( $h^2 > 87\%$ ). Les valeurs de l'héritabilité sont moyennes ( $51\% < h^2 < 70\%$ ) pour le diamètre, la largeur paniculaire, la longueur de la feuille, le rendement grains de la panicule principale et le rendement grains de la plante entière. Par contre les caractères, largeur des feuilles (41,5 %), nombre de panicules par plante (37,8 %), poids des panicules entières (36,7 %), tallage utile (30 %) et végétatif (48 %) enregistrent les faibles valeurs d'héritabilité ( $30\% \leq h^2 \leq 41,5\%$ ).

Pour toutes les variables étudiées, les valeurs des coefficients de variation phénotypique sont supérieures aux valeurs des coefficients de variation génotypique. Les coefficients de variation phénotypique ont des valeurs élevées pour les variables tallage utile (TAU = 58,6 %), tallage végétatif (TAV = 40,9 %), rendement grains de la panicule principale (PGP = 31,4 %), rendement grains de la plante entière (PGE = 33,2 %), poids de la panicule principale (PPP = 22,7 %) et poids des panicules de la plante entière (PPE = 25,1 %). Seul le caractère longueur de la feuille (LOF) a une faible valeur de coefficient de variation phénotypique (8,64). Les autres variables présentent des valeurs moyennes comprises entre 11 et 20 %.

Tableau 9 : Paramètres génétiques calculés pour les dates de semis cumulées

Variable	MSG	MSE	V <sub>G</sub>	V <sub>P</sub>	h <sup>2</sup>	√VG	√VP	GCV	PCV
DTI	16	7,81	2,74	5,34	51,2	1,65	2,31	9,88	13,8
HPM	1,74	0,22	0,25	0,29	87,4	0,50	0,54	16,2	17,4
LAF	8,17	4,78	0,57	1,36	41,5	0,75	1,17	10,6	16,5
LAP	16,6	8,01	1,43	2,76	51,7	1,20	1,66	11,8	16,4
LOF	209	101	18	34,9	51,5	4,24	5,91	6,2	8,64
LOP	239	28,7	35,1	39,9	88	5,93	6,32	16,2	17,2
NEN	23,4	2,55	3,48	3,91	89,1	1,87	1,98	16,7	17,7
NJF <sub>100%</sub>	421	22,9	66,4	70,2	<b>94,6</b>	8,15	8,38	10,7	11
NJF <sub>50%</sub>	439	32,5	67,7	73,2	92,6	8,23	8,55	10,6	11
PGE	1069	468	100	178,3	56,2	10	13,3	24,9	33,2
PGP	791	277	85,8	132	65	9,26	11,5	25,3	31,4
PPE	1358	860	83	226	<b>36,7</b>	9,11	15	15,2	25,1
PPP	902	437	77,7	150,5	51,6	8,81	12,3	16,3	22,7
SDF <sub>100%</sub>	420	20,8	66,6	70	95	8,16	8,37	11,2	11,5
SDF <sub>50%</sub>	463	36,4	71,2	77,3	92,1	8,44	8,79	11,4	11,9
TAU	0,17	0,12	0,01	0,03	<b>30</b>	0,09	0,17	32,1	58,6
TAV	1,30	0,68	0,10	0,22	48	0,32	0,47	28,4	40,9

MSG : carré moyen du génotype, MSE : carré moyen de l'erreur, VG : variance génotypique, variance phénotypique, H<sup>2</sup> : héritabilité au sens large, √VG : écart-type de la variance génotypique, √VP : écart-type de la variance phénotypique, GCV : Coefficient de variation génotypique, PCV : Coefficient de variation phénotypique.

### III. DISCUSSION

L'étude de la variable, couleur des grains a montré que les accessions aux grains blancs représentent 77,5 % de sorghos grains cultivés au Burkina Faso. Trouche *et al.* (2001) rapportent que la demande des agriculteurs en matière de nouvelles variétés est plus forte pour le sorgho blanc. Le sorgho est utilisé dans l'alimentation humaine, et le goût du consommateur est plus prononcé pour le sorgho blanc vitreux. En effet, le sorgho blanc est essentiellement destiné à la préparation du « tô », un plat national et le sorgho rouge à la fabrication d'une bière traditionnelle, le dolo. L'analyse des groupes botaniques a montré une prédominance de la race *Guinea* (77,5 %), ce qui corrobore les travaux réalisés par Sapin (1984), Zongo (1991) et Barro-Kondombo (2010). Mais elle diffère des travaux faits par Nebié (2014) et Sawadogo (2015) sur le sorgho à tige et à grains sucrés respectivement.

La majorité des accessions, de la collection possède des arêtes. Les arêtes sont des caractéristiques qui assurent une protection de la plante contre les oiseaux. Un peu plus de la moitié des sorghos grains du Burkina Faso ont des glumes velues. Dje *et al.* (2007) qui ont travaillé sur les accessions de sorgho du Maroc ont trouvé que 95,2 % et 82,2 % portent respectivement des arêtes et de la pilosité sur les glumes. La pilosité de la glume est une caractéristique propre à certaines zones écologiques du Burkina Faso. La variable égrainage est une caractéristique importance car en milieu paysan africain, l'égrainage est réalisé manuellement par les femmes à l'aide du mortier et du pilon. Ainsi, la pénibilité de cette activité est fortement liée au degré d'adhérence de la graine à la glume. Au Burkina Faso, la grande majorité de sorghos grains possèdent des panicules à égrainage facile contre seulement 4 % à égrainage difficile. Ce caractère serait sélectionné par les producteurs qui, selon Cox *et al.* (2009) choisissent intentionnellement un éventail de traits désirés dans les espèces.

L'analyse de variance a montré que le facteur « accession » est significatif pour la plupart de caractères avec un coefficient de détermination  $R^2$  compris entre 36,3 et 96,2 %. Ce résultat corrobore ceux obtenus par Barro-Kondombo (2010) ( $14,5 \leq R^2 \leq 84,8$  %) et Sawadogo (2015) ( $49,2 \leq R^2 \leq 83,8$  %) qui ont travaillé respectivement sur la diversité génétique des sorghos de trois régions agricoles du Burkina Faso et sur la diversité génétique des sorghos grains sucrés du Burkina Faso. Ce qui indique la présence d'une diversité importante au sein des sorghos grains du Burkina Faso. Celle-ci résulte du système de production paysan qui consiste à produire les semences par la sélection massale aboutissant à des variétés populations à base génétique large. Pour la FAO (2009), les communautés locales et autochtones, ainsi que les agriculteurs de toutes les régions du monde, et particulièrement

ceux des centres d'origine et de diversité des plantes cultivées, ont apporté et continueront d'apporter une importante contribution à l'utilisation durable des ressources phylogénétiques constituant la base de la production alimentaire et agricole dans le monde.

Les grandes valeurs des coefficients de variation notées entre les performances des accessions pour la plupart des caractères étudiés traduisent l'existence d'une diversité au sein des accessions. En effet les caractères tallage végétatif (CV = 54 %), tallage utile (CV = 77,8 %), rendement grains de la panicule principale (CV = 47,1 %) et rendement grains par plante (CV = 40,4 %) présentent des grandes valeurs de coefficients de variation, similaires à celles obtenues par Nebié (2014) et Sawadogo (2015) respectivement pour le nombre de talles végétatives (CV = 53,32 et 58,44 %), le nombre de talles productives (CV = 65,14 et 61,55 %) et le rendement grains par plante (CV = 43,56 et 40,4 %). Cette variabilité corrobore celle obtenue par Zongo (1991) et Thiombiano (1983).

Le cycle semis-apparition de la feuille drapeau des accessions varie entre 59,96 à 100,9 jours et la hauteur des plants à maturité varie entre 1,8 m et 4,701 m. Ces valeurs englobent celles des sorghos à tige sucrée observées par Nebié (2014) variant de 126,25 à 344,38 cm et à grains sucrés observées par Sawadogo (2015) variant de 199,7 à 398 cm. Les longueurs de panicules présentent des valeurs comprises entre 21,44 et 50,5 cm. Le nombre d'entre-nœuds est assez variable selon les accessions et va de 7 à 19,33. Les accessions ont produit en moyenne 0,67 talles végétatives et 0,34 talles productives. Par contre certaines accessions n'ont pas conduit leurs talles à produire, ce qui se traduit par la valeur du tallage utile qui a varié de 0 à 1,249 par plant. Les variétés *durra* ont une faible aptitude au tallage comparativement aux variétés de type *guinea* (Sako *et al.*, 2000).

Une corrélation positive ou négative entre caractères est un outil d'aide à la sélection. Ainsi, parmi les corrélations observées, celles qui d'une part associent fortement et positivement le diamètre de la tige avec la longueur et la largeur des feuilles ; et d'autre part associe le rendement de la plante à la largeur des feuilles, au diamètre de la tige et au nombre de feuilles présentent un intérêt. En effet, les feuilles, siège de la photosynthèse, contribuent au développement des ports de la plante et partant à la production. Elles permettent la fabrication des matières carbonées (glucides) stockées comme réserves dans le grain. Fiedel *et al.*, (1996) rapporte que les glucides représentent 80 % de la matière sèche du grain.

Le rendement de la plante est négativement corrélé à la taille des plantes et au cycle. Selon Bezançon (2003), il y a une relation linéaire entre la maturité et la hauteur des plantes, d'où la prépondérance des cultivars hâtifs plus courts en milieu paysan. Vaksman *et al.*, (2008)

rapporte que la réduction de la taille de la variété locale permet l'amélioration des composantes du rendement. Cela corrobore les travaux de Barro-Kondombo (2010) mais il est contraire à ceux de Sawadogo (2015). Au regard de l'objectif principal de la sélection des pays tropicaux qui est la création des variétés productives et de la corrélation négative entre le rendement et la taille, il semble logique de rechercher à réduire la taille pour accroître la production. Pour Clerget *et al.*, (2004) le tallage et la réduction de la taille ne sont probablement pas de bonnes voies vers l'amélioration du potentiel de rendement des sorghos photopériodiques. Selon l'auteur l'effort doit essentiellement porter sur la "décorrélation" de la relation qui lie actuellement la taille potentielle de la panicule à la date de floraison de la variété.

Les plantes les plus tardives sont celles qui possèdent les tiges les plus hautes, les plus volumineuses, beaucoup d'entre-nœuds, les panicules les plus longues et qui produisent plus de talles. Cela est dû au fait que les accessions les plus tardives étalent leur développement sur une longue période que dure la période de l'humidité. Ce qui corrobore les travaux de Zongo (1991). Pour ce dernier, l'association entre le cycle et le nombre d'entre-nœuds s'explique par le fait que les deux caractères sont contrôlés par les mêmes gènes.

L'analyse multivariée fait ressortir 5 groupes de plantes. La hauteur de la plante à maturité, le cycle semis apparition de la feuille drapeau et le nombre d'entre-nœuds ont joué un rôle important dans la constitution des groupes qui présentent des différences significatives entre eux pour tous les caractères. Le groupe I est constitué d'individus plus précoces, à faible nombre d'entre-nœuds et à faible rendement. Le groupe II est constitué d'individus nains à tige épaisse. Le groupe III est constitué par des accessions les plus précoces et productifs, ce groupe allie deux caractères importants pour la sélection. Le groupe IV est constitué d'accessions ayant des valeurs moyennes pour les variables étudiées. Le groupe V est constitué d'accessions de grande taille, tardifs, possédant de nombreux entre-nœuds et moins productifs.

Pour le sélectionneur, il ne suffit pas d'avoir une disponibilité en variabilité structurée dans le matériel pris en compte, mais il est indispensable de comprendre cette structuration pour gérer efficacement et orienter son utilisation en sélection. Pour ce faire, l'estimation de l'héritabilité ( $h^2$ ) qui indique précisément le gain héritable attendu est d'une grande importance (Beninga *et al.*, 2011). En amélioration génétique, on distingue trois principales catégories de caractères selon la valeur de l'héritabilité, des caractères à variation fortement héritable ( $h^2 \geq 0,5$ ), moyennement héritable ( $0,2 \leq h^2 \leq 0,5$ ) et faiblement héritable ( $h^2 < 0,2$ ).

Ainsi le cycle, la taille des plantes, la longueur paniculaire et le nombre d'entre-nœud sont fortement dépendants du génotype ( $h^2 \geq 0,87$ ) ; Nebié (2014) a obtenu  $h^2 \geq 0,8$  pour les mêmes variables. Cela signifie que plus de 87 % de la diversité phénotypique, a une base génétique héritable pour les accessions étudiées. A l'exception des variables largeur des feuilles, poids des panicules entières, tallages utile et végétatif, qui expriment une héritabilité moyenne, toutes les autres variables présentent une forte héritabilité ( $h^2 \geq 0,5$ ). Ce résultat est similaire à ceux de Sawadogo (2015) et Drabo *et al.*, (2013). Ainsi, la sélection sera plus facile car la part due au milieu présente dans la variabilité totale observée dans cette collection est faible.

## **CONCLUSION PARTIELLE**

L'étude de l'évaluation de la variabilité agromorphologique des accessions de sorgho de la banque de gènes du Burkina Faso a permis de montrer l'existence d'une importante diversité mieux expliquée par le facteur « accessions ». La plupart des accessions possèdent des grains blancs à égrainage facile, aristés et ont des poils au niveau des glumes. Cette variabilité détermine, la bonne adaptation des accessions aux diverses conditions de cultures et de l'environnement burkinabés.

Il ressort également des corrélations dont les plus intéressantes sont celles qui, d'une part associent fortement et positivement le diamètre de la tige avec la longueur et la largeur des feuilles et d'autre part le rendement de la plante à la largeur des feuilles, au diamètre de la tige et au nombre de feuilles. L'étude sur l'association des caractères a permis de voir que les plantes les plus tardives possèdent les tiges les plus hautes, les plus volumineuses, avec beaucoup d'entre-nœuds, les panicules les plus longues et produisent plus de talles.

La structuration de cette diversité a permis de répartir les 120 accessions en 5 groupes avec dans le groupe 3 des accessions qui présentent une importance pour la sélection car elles allient les caractères précocité et productivité. L'étude sur l'héritabilité des caractères étudiés, montre que la part due au milieu présente dans la variabilité totale observée dans cette collection est faible, ce qui représente un atout pour la sélection de ces caractères.

## CHAPITRE III. CARACTERISATION DU PHOTOPERIODISME ET INFLUENCE DES DATES DE SEMIS SUR L'EXPRESSION DES CARACTERES

### INTRODUCTION

Au Burkina Faso, le sorgho est la principale céréale cultivée. Les paysans utilisent des variétés traditionnelles qui, quoi que peu productives, sont spécifiquement adaptées à leur environnement et leur permettent de minimiser les risques et de répondre aux utilisations variées (Trouche *et al.*, 1998 ; Vaksmann *et al.*, 2008). Ces sorghos sont très sensibles à la photopériode, caractéristique qui leur confère un important avantage évolutif en raison du climat continental de la zone, caractérisé par de fortes variations interannuelles du régime pluviométrique (Clerget *et al.*, 2004). En condition normale de culture, la durée du cycle végétatif des plantes de jours courts comme le sorgho, varie en fonction de la date de semis de façon sensiblement linéaire et décroissante (Traore *et al.*, 2000), ainsi, les sorghos ont tendance à fleurir plus rapidement vers la fin de la saison de pluies, lorsque la longueur du jour diminue (Vaksmann *et al.*, 1996).

Ces accessions traditionnelles fournissent une production élevée de paille, avec un ratio paille/grain faible, et ne répondent pas à une intensification des techniques. C'est pourquoi les sélectionneurs ont entrepris, depuis 1960, divers croisements à partir de matériel exogène. L'obtention de variétés insensibles à la photopériode a été un des principaux critères de sélection. Pourtant, l'évaluation de l'impact de la recherche sur le développement rural montre que les variétés améliorées obtenues sont peu adaptées aux systèmes de production d'Afrique de l'Ouest (Vaksmann *et al.*, 1996 ; Lacy *et al.*, 2006).

Il est souvent considéré qu'il existe une corrélation négative entre les performances de la plante et la stabilité du rendement. Pourtant, la rusticité des variétés locales n'est pas inconciliable avec l'augmentation de la productivité (Vaksmann *et al.*, 2008).

L'objectif de cette étude est de permettre une bonne connaissance des caractéristiques photopériodiques. Cette étude vise aussi à documenter les performances agronomiques (rendement en biomasse et en grain) de ces accessions en fonction de la date de semis par référence à leurs particularités photopériodiques.

# I. MATERIELS ET METHODE

## 1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé provient de la collection de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO. Les cent vingt accessions (120) utilisées pour cette étude sont les mêmes que celles utilisées dans le chapitre précédent.

## 1.2. Site expérimental et opérations culturales

L'évaluation s'est déroulée à la station expérimentale de Gampéla, située à 12°24'29" de latitude Nord et 1°21'9,6" de longitude Ouest. Au cours de la campagne, une pluviométrie de 832,7 mm avec une température variant entre 23 et 35 °C ont été enregistrées. Les semis ont été faits le 9 juillet pour la première date et le 31 juillet 2010 pour la deuxième date de semis. Selon Clerget *et al.*, (2007) un décalage d'un mois entre début juin et fin juillet permet de mesurer les réactions des plantes à la photopériode. Dans la présente étude le décalage a été de trois semaines à cause du retard de la première date de semis dû à une installation tardive des pluies.

## 1.3. Collecte des données

Dix caractères quantitatifs ont été mesurés pour déterminer le cycle et l'effet de retard de semis sur la production. Il s'agit des cycles semis-apparition de la feuille drapeau de 50 % ou de 100 % des plants ( $SDF_{50}$  ou  $SDF_{100}$ ) et semis-floraison de 50 % ou de 100 % des plants ( $NJF_{50}$   $NJF_{100}$ ) ; du poids de la panicule principale (PPP) et du poids des panicules de la plante entière (PPE) obtenus sur quatre poquets récoltés en entier dont l'ensemble des panicules sont battues et pesées pour obtenir les poids des grains de la panicule principale (GPA), des grains de la plante entière (GPL) et du poids de cent grains (PCG), déterminé à partir de quatre échantillons aléatoirement pris dans ce lot. Le nombre de grains perdus par accession (NGEp) est calculé en faisant la différence entre le nombre de grains de la première et de la deuxième date de semis.

Dans le but de déterminer l'effet de l'écart de semis sur l'expression des caractères, les variables hauteur de la plante à maturité (HPM), nombre d'entre-nœuds (NEN), tallage utile et végétatif (TAU, TAV) ont été déterminées pour les deux dates de semis.

Le coefficient de photopériodisme K est calculé en faisant le rapport de la différence des durées semis-apparition de la feuille drapeau entre la première ( $SFD_1$ ) et la deuxième ( $SFD_2$ ) date de semis sur l'écart entre les deux dates de semis ( $d_1-d_2$ ).

$$K = \frac{SFD_1 - SFD_2}{|d_1 - d_2|}$$

Le coefficient K varie de 0 à 1. Pour les variétés insensibles à la durée du jour,  $k = 0$  car la durée du cycle n'est pas influencée par la date de semis ( $SFD_1 = SFD_2$ ). Pour les variétés très photosensibles ce coefficient est proche de 1 car le raccourcissement de la période végétative compense l'écart de semis en groupant la floraison à la même date.

Afin de permettre de mesurer les interactions potentielles entre l'initiation à la floraison et les facteurs climatiques (température, insolation et pluviométrie), des données météorologiques de la campagne 2009-2010 ont été recueillies auprès de la Direction Nationale de Météorologie de Ouagadougou. Des courbes de variation de température, de l'insolation et de la pluviométrie ont été réalisées et concomitamment, des courbes correspondant aux périodes de floraison sont réalisées afin de voir l'effet de ces paramètres climatiques sur l'initiation à la floraison.

#### **1.4. Analyse des données**

Pour tous les caractères étudiés, les moyennes ont été comparées par l'analyse de la variance (ANOVA) avec le logiciel GenStat version 10.3, pour savoir s'il existe des différences significatives entre les accessions et entre les différentes zones de collecte. Dans les conditions paramétriques, la distribution de la variable doit être Normale. Dans certains cas, une transformation logarithmique a été nécessaire afin de normaliser cette distribution.

Les coefficients de variation (CV), de corrélation et de régression ont été calculés, à l'aide du logiciel Xlstat pro version 7.1 et EXCEL. Les CV ont permis d'apprécier les niveaux de variation des moyennes observées entre les différentes accessions pour chaque caractère. Les corrélations ont permis de vérifier les liaisons deux à deux entre variables. Ainsi, lorsque 2 variables varient conjointement, il a été question de mesurer la signification du coefficient de corrélation. L'équation de la droite de régression est calculée lorsque les contributions sont en accord avec la normalité.

Les courbes de pluviométrie, des températures et de l'insolation (données climatiques) ont été réalisées par EXCEL.

## II. RESULTATS

### 2.1. Etude de la réponse à la photopériode

#### 2.1.1. Les valeurs moyennes et la sensibilité à la photopériode

L'analyse des coefficients de variation (tableau 10) montre de grandes valeurs de coefficient de variation entre les accessions au niveau des dates de semis pour la plupart des variables étudiées. Ce qui traduit une importante variation entre les accessions pour les dates de semis. Il existe des différences significatives au seuil de 0,1 % entre les accessions pour toutes les variables sauf pour la longueur de panicule, qui présente une différence significative au seuil de 1 %. La détermination du coefficient de photopériodisme à partir de l'apparition de la feuille drapeau donne une valeur moyenne de 0,33 et avec des valeurs extrêmes de 0,006 et 0,82.

Tableau 10 : Performance des accessions pour les deux dates de semis

Caractères	Moyenne	Minimum	Maximum	CV (%)	F	Signification
TAV	1,14	0	5,88	87,35	218,25	***
TAU	0,28	0	2,56	128,42	14,96	***
LOF	68,46	39,5	87,67	16,48	44,28	***
LAF	7,06	3,2	56,67	43,33	50,83	***
DTI	16,76	9	24,33	19,98	83,34	***
HPM	3,11	1,11	5,08	28,09	416,4	***
LOP	36,73	18,5	55,67	22,56	10,14	**
LAP	10,08	3,87	22,00	33,28	119,77	***
NPP	1,44	1	4,33	43,83	21,37	***
NEN	11,20	5,67	23,67	28,80	483,69	***
PPP	54,18	4,41	180,20	59,10	596,98	***
PPE	60,20	4,41	262,15	69,62	493,05	***
PGP	36,59	0	106,37	71,13	547,6	***
PGE	40,22	0	167,71	79,67	494,27	***
SDF_100%	72,52	55	104,43	13,49	85,90	***
SDF_50%	73,68	55	105,00	14,10	16,57	***
NJF_100%	76,53	58,14	108,14	13,50	82,62	***
NJF_50%	77,57	57	109,00	12,97	19,11	***
K	0,33	0,006	0,82	<b>61,32</b>		
RDC/mois	9,9	0,18	24,6			

*RDC : réduction du cycle ; SDF : nombre de jours semis-apparition des feuilles drapeau ; K : coefficient du photopériodisme.*

Le tableau 11 présente les performances moyennes des coefficients du photopériodisme des accessions en fonction des régions où elles ont été collectées. Les écart-types présentent des

valeurs très faibles pour toutes les régions. L'analyse des coefficients de variation montre cependant de grandes variations des valeurs du coefficient de photopériodisme pour toutes les régions avec de très fortes valeurs pour le Centre-Nord, le Sud-Ouest, le Centre-Ouest, l'Est et le Nord-Ouest, respectivement de 86,24 % ; 71,27 % ; 62,92 % ; 62,45 % et 60,94 %. L'accession le moins photopériodique est dans la région du Centre-Nord avec une valeur de K de 0,006 et le plus photopériodique est à l'Est avec un K de 0,823.

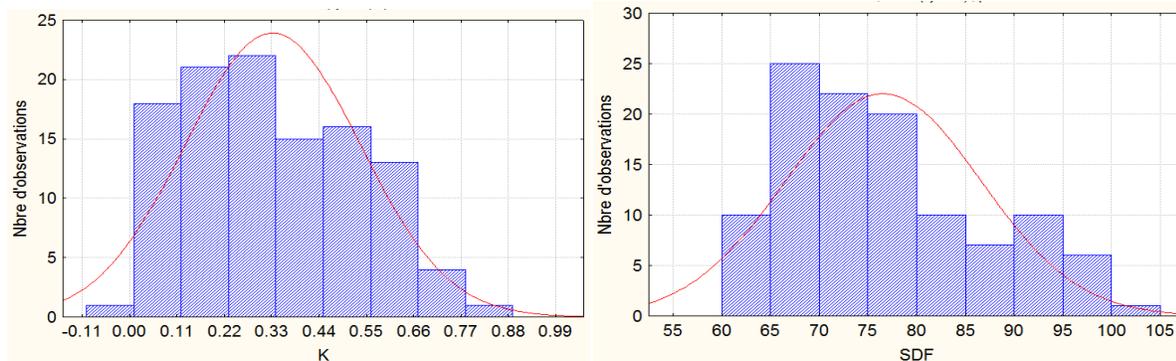
Tableau 11 : Variation et valeurs moyennes des coefficients de photopériodisme par région

K par zone	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type	CV (%)
Nord	0,27	0,07	0,46	0,14	51,29
Nord-Ouest	0,31	0,03	0,69	0,19	60,94
Centre-Nord	0,27	0,006	0,68	0,23	86,24
Est	0,4	0,03	0,82	0,25	62,45
Centre-Sud	0,3	0,02	0,61	0,18	59,87
Centre-Ouest	0,34	0,19	0,49	0,21	62,92
Sud-Ouest	0,35	0,06	0,65	0,25	71,27
Ouest	0,5	0,22	0,76	0,17	33,38

*K : coefficient de photopériodisme ; CV : coefficient de variation*

La figure 14 présente les histogrammes d'une distribution de probabilité du cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF) et du coefficient de photopériodisme (K). La distribution ne suit pas une loi normale, elle est asymétrique et présente une kurtose au niveau des 2 variables étudiées. Les deux courbes présentent chacune une asymétrie positive avec une distribution qui s'étale plus vers les valeurs élevées de la variable.

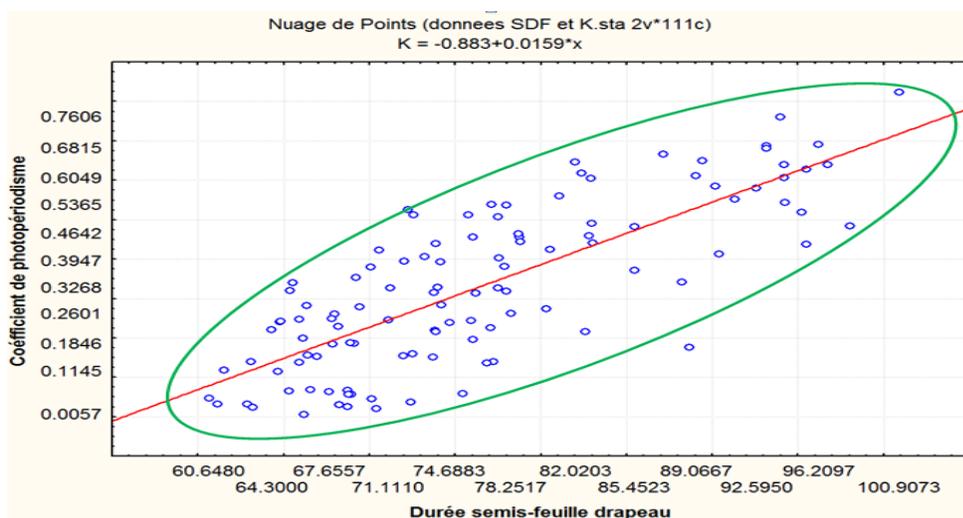
L'étendue de la distribution pour le SDF est de 60,65 à 100,9 jours avec une moyenne de 76,56 jours. La distribution de K s'étend de 0,006 à 0,82 et une moyenne de 0,332.



**Figure 14 :** *Distribution de la durée semis-feuille drapeau et du coefficient de photopériodisme*

La figure 15 montre la relation existante entre la durée du cycle semis-apparition de la feuille drapeau (SDF) et le coefficient de photopériodisme (K) pour l'ensemble des accessions étudiées.

La droite de régression ne passe pas par l'origine, mais à une valeur de K égale à 0,0057. Le nuage des points a la forme d'une bande elliptique plus ou moins aplatie, mais dont le grand axe est incliné sur les axes c'est-à-dire aux plus grandes valeurs de SDF correspondent les plus grandes valeurs de K et qu'aux plus petites valeurs de SDF correspondent les plus petites valeurs de K. Ainsi, les accessions les plus tardives sont aussi les plus photopériodiques.



**Figure 15 :** *Relation entre la SDF et le coefficient K*

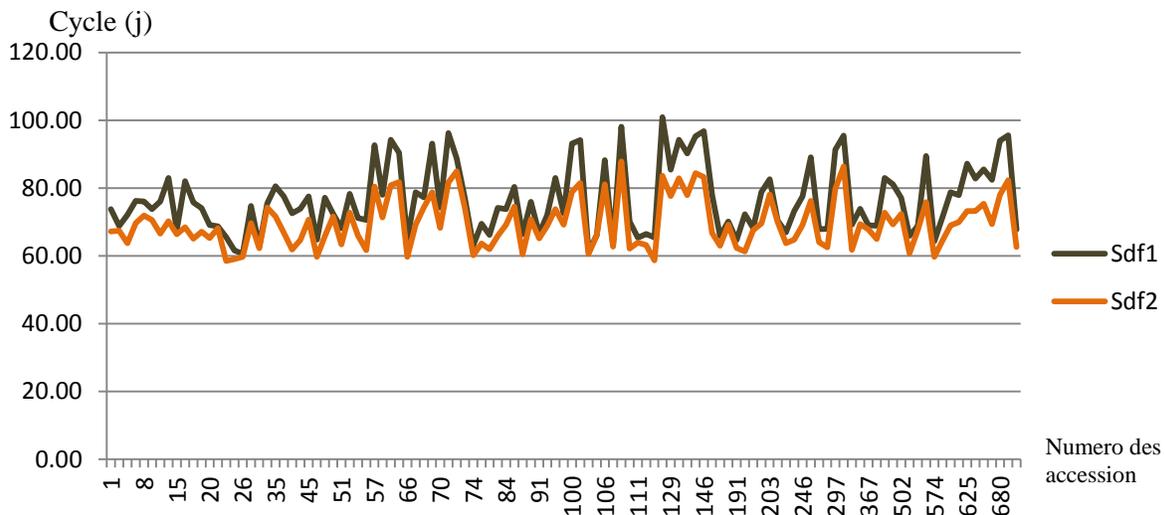
La répartition de la réduction du cycle par zone pluviométrique (Tableau 12) donne de grands coefficients de variations de 51,3 pour la zone de pluviométrie inférieure à 600 mm, 65,3 pour celle comprise entre 600 et 700 mm et 53,1 pour celle supérieure à 700 mm. Le cycle des accessions décroît à mesure que la pluviométrie diminue et les accessions réduisent davantage leur cycle plus ils sont originaires des zones les plus humides.

Tableau 12 : Répartition de la réduction du cycle des accessions par zone pluviométrique

Zone	SDF moyenne	Réduction de nombre de jours	Coefficient de Variation	Nombre d'accessions
Zone 1 (<600 mm)	73,8 jours	81,2 jours	51,3	7
Zone 2 (600-700 mm)	76,33 jours	9,58 jours	65,3	74
Zone 3 (>700 mm)	77,78 jours	11,3 jours	53,1	30

### 2.1.2. Variation du cycle entre les deux dates de semis

La figure 16 montre la variation de cycle entre les deux champs pour les mêmes accessions. Il y a une allure quasi-similaire entre les deux essais pour les mêmes accessions avec quelques rares variations. Ainsi la plupart des accessions semées à des dates différentes réduisent leur cycle, quelques rares accessions réduisent faiblement leur cycle, ce qui se traduit par les rares rapprochements entre les deux courbes.



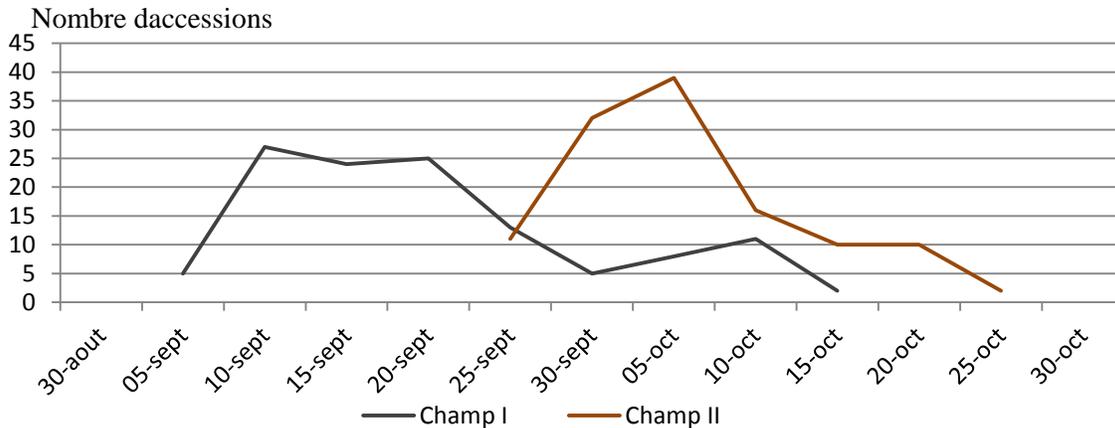
**Figure 16 :** Variation de la durée du cycle entre les deux dates de semis

*Sdf1* : nombre de jours semis-apparition des feuilles drapeau de la 1<sup>ère</sup> date de semis ; *Sdf2* : nombre de jours semis-apparition des feuilles drapeau de la 2<sup>e</sup> date de semis, j : jour

### 2.1.3. Effets de la pluviométrie, de la température et de l'insolation dans la réponse photopériodique

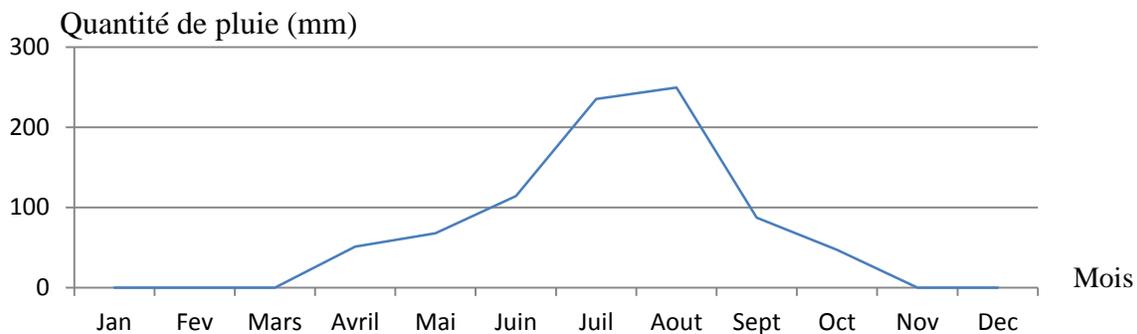
La figure 17 présente l'évolution de la floraison pour les deux dates de semis dans le temps. Pour la 1<sup>ère</sup> date, la floraison débute le 05 septembre puis s'intensifie jusqu'au 10 septembre et se maintient jusqu'au 20 septembre. Pour la 2<sup>e</sup> date de semis, la floraison commence le 25 septembre pour atteindre son optimum le 5 octobre ; elle chute très rapidement à partir du 10

octobre. La floraison totale s'est étalée du 5 septembre au 25 octobre, avec un écart de 20 jours (5 et 25 septembre) entre le début de floraison des deux dates de semis et 10 jours (15 et 25 octobre) entre les fins de la floraison.



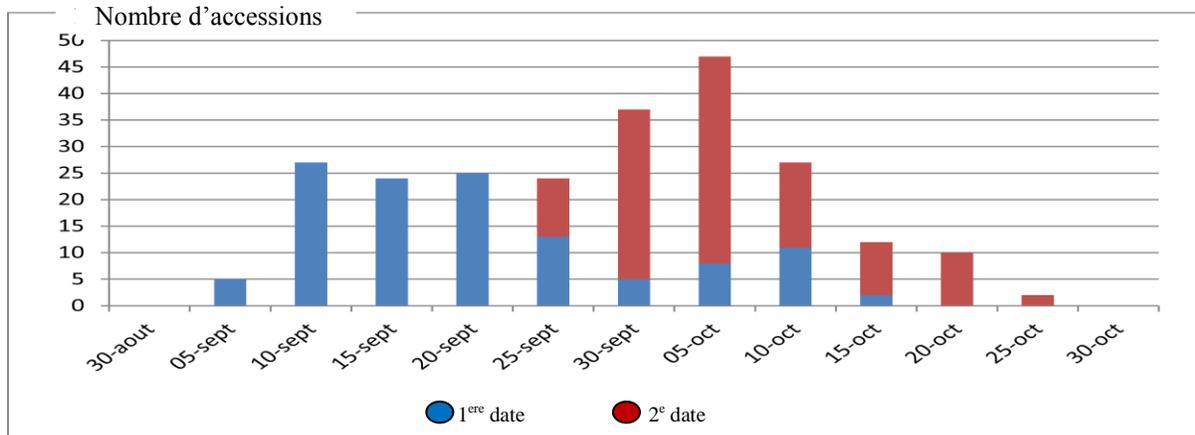
**Figure 17 :** Evolution de la floraison pour les deux dates de semis

La Figure 18 montre la répartition des précipitations au cours de l'expérimentation. Les pluies atteignent leur pic en août pour se réduire en septembre et s'arrêter en mi-novembre. La période 20 jours avant la fin de pluie coïncide avec la floraison. En effet, la floraison est très intense entre fin septembre et le 10 octobre.



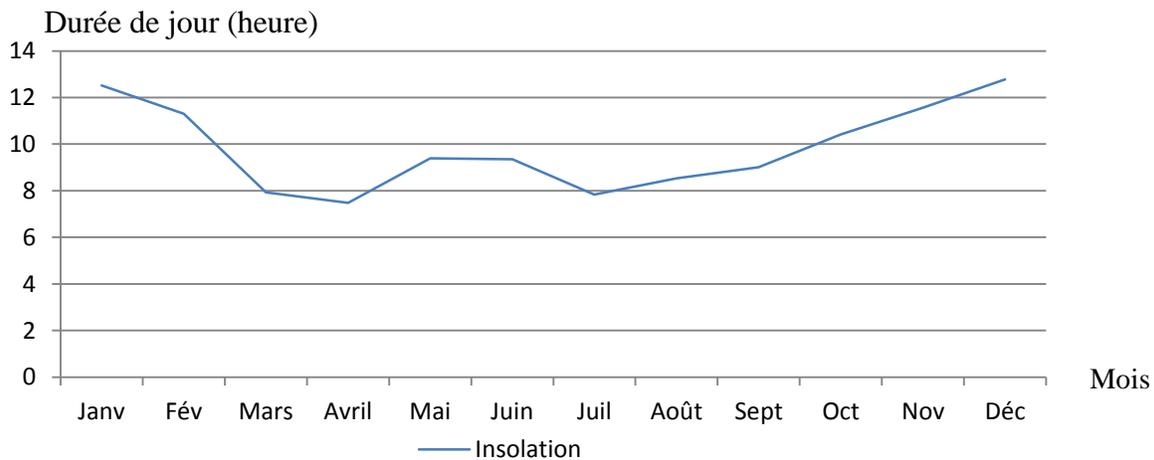
**Figure 18 :** Répartition de la pluviométrie (Direction National de Météorologie du Burkina Faso, 2010)

La figure 19 montre l'intensité de la floraison des deux dates de semis cumulées. Il apparaît une distribution normale de la courbe avec une intense floraison le 05 octobre au niveau de la deuxième date de semis. En effet, 45 accessions ont fleuri à cette date représentant environ 1/5 de l'ensemble des accessions des deux dates de semis. La floraison totale est groupée du 05 septembre au 25 octobre. Par contre, plus de la moitié des accessions a fleuri entre le 25 septembre et le 10 octobre, approximativement en 2 semaines.



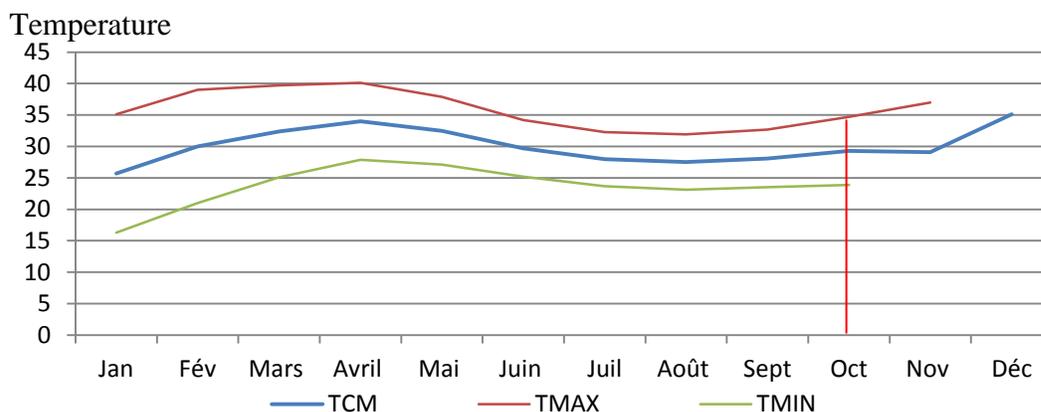
**Figure 19 :** Histogramme de la floraison cumulée des deux dates de semis

La figure 20 montre l'insolation moyenne correspondant à la durée moyenne du jour dans une journée de 24 heures. La floraison a commencé lorsque l'insolation était d'environ 10 h. En effet, depuis le semis jusqu'au début de la floraison, la courbe de l'insolation est en dessous d'un seuil critique situé autour de 10 h, seuil au-dessous duquel la floraison semble être inhibée.



**Figure 20 :** Insolation moyenne (Direction National de Météorologie du Burkina Faso, 2010)

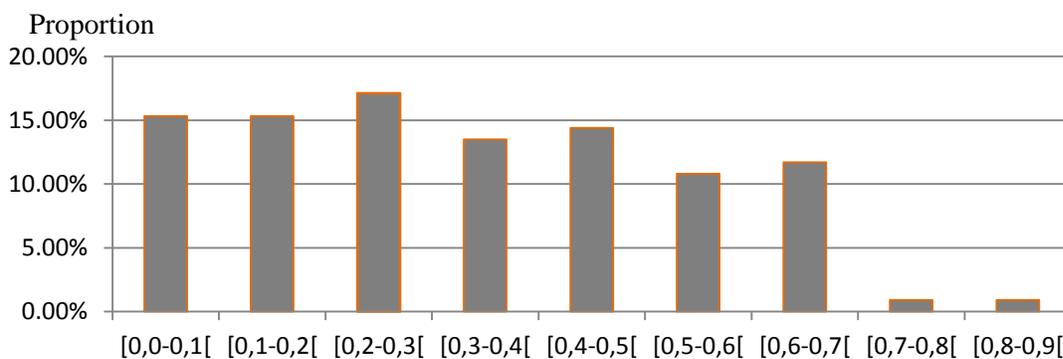
La figure 21 présente les températures moyenne, maximale et minimale de la période des essais. On constate qu'en début du mois d'octobre, les températures croissent vers une température maximale de 35 °C, une température moyenne de 30 °C et une température minimale de 25 °C. Ces températures obtenues au cours de cette période coïncident avec le début de floraison (Figure 19).



**Figure 21** : Répartition des températures (Direction National de Météorologie du Burkina Faso, 2010) TCM : température moyenne ; TMAX : température maximale ; TMIN : température minimale

#### 2.1.4. Variation du coefficient de photopériodisme

La répartition des coefficients de photopériodisme en classe (Figure 22) montre une distribution asymétrique. En effet, la classe de K variant entre 0,2 et 0,3 est représentée par 17 % d’accessions et les autres classes ont une représentation variant entre 11 % à 15 %. Seules les classes de K variant entre 0,7 et 0,9 et entre 0,8 et 0,9 sont représentées chacune par moins de 2 % des accessions.



**Figure 22** : Répartition du coefficient de photopériodisme en classe

La représentation du coefficient de photopériodisme de chaque région par classe (Figure 23) donne dans les 7 premières classes la dominance des accessions du Nord-ouest, avec une absence totale de celles-ci dans les 2 dernières classes. Ces accessions du Nord-ouest présentent une distribution normale avec un pic au niveau de la classe [0,2-0,3[. Par contre les accessions de l’Ouest ont une distribution croissante qui se termine par une représentation à 100 % dans l’avant-dernière classe. Ainsi, seules les accessions de cette région réduisent leur cycle de 21 à

24 jours. Les accessions de l'Est ont une distribution asymétrique avec cependant une représentation à 100 % dans la dernière classe. Ces accessions sont les seules en mesure de réduire leur cycle de 24 à 29 jours lors de ce retard de semis.

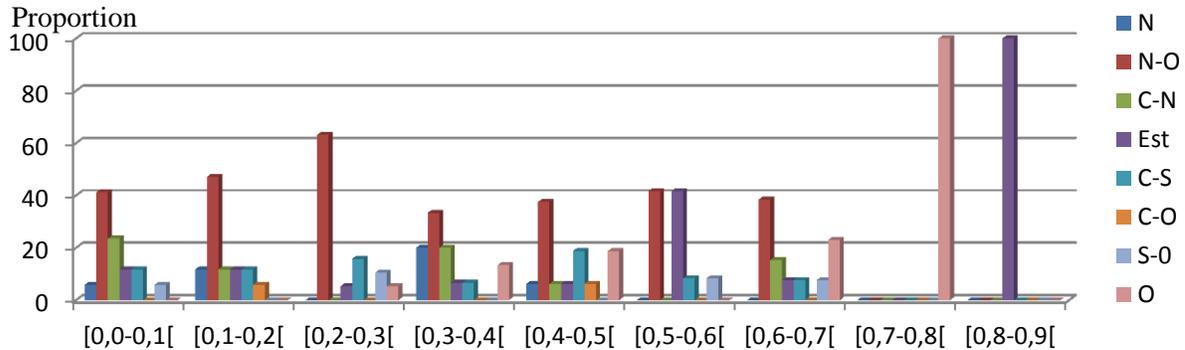


Figure 23 : Représentativité en K des accessions de chaque région par classe  
*N : nord ; N-O : nord-ouest ; C-N : centre-nord ; C-S : centre-sud ; C-O : centre-ouest ; S-O : sud-ouest ; O : ouest*

La répartition en coefficient de photopériodisme de chaque région par classe (Figure 24) permet de voir une distribution normale pour les accessions du Nord, du Nord-ouest, de l'Ouest, du Sud-ouest, du centre-ouest. Elle est plutôt asymétrique pour les accessions des régions du Centre-nord, de l'Est et du Centre-sud. Les accessions du Centre ouest ne sont représentées que dans les classes [0,1-0,4[ et [0,4-0,5[ avec une valeur de 50 % pour chaque classe.

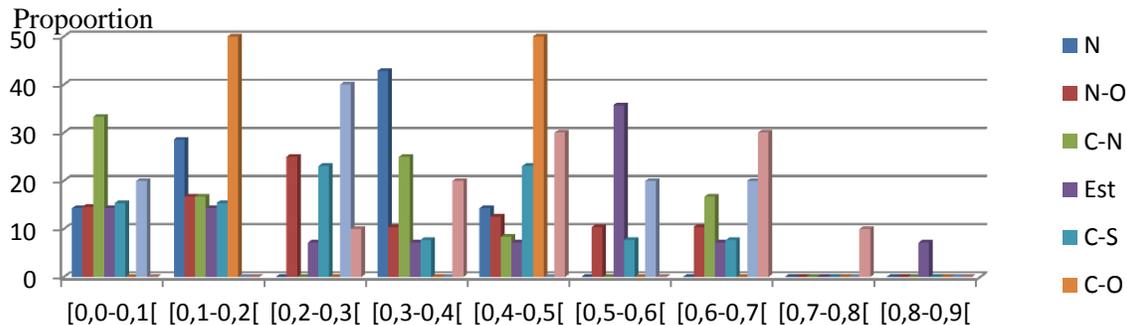


Figure 24 : Représentation en classe de coefficient de photopériodisme des accessions par région  
*N : nord ; N-O : nord-ouest ; C-N : centre-nord ; C-S : centre-sud ; C-O : centre-ouest ; S-O : sud-ouest ; O : ouest*

## 2.2. Influence des dates de semis sur l'expression des caractères

### 2.2.1. Influence de la date de semis sur le rendement

Le tableau 13 montre les performances des accessions pour les deux dates de semis. Les accessions présentent entre elles des différences hautement significatives ( $P= 0,1 \%$ ) pour toutes les variables relativement au rendement témoignant de l'existence d'une variabilité importante

entre les accessions pour les dates de semis. Les caractères, rendement grains de la plante (CV = 79,67 %), rendement grain de la panicule principale (CV = 71,13 %), poids des panicules de la plante (CV = 69,63 %), poids de la panicule principale (CV = 59,1 %) et le nombre de panicule par plante (CV = 43,83 %) ont présenté les coefficients de variation les plus élevés (CV > 30 %) indiquant une forte variation entre les accessions pour les caractères étudiés, car une valeur élevée du coefficient de variation traduit une forte hétérogénéité du matériel étudié. Les performances des accessions diminuent considérablement. Ainsi, lors d'un retard de semis de 3 semaines, les accessions perdent entre 9,69 à 94,54 % des graines de leur panicule principale.

Tableau 13 : Performance des accessions pour les deux dates de semis

Caractères	Moyenne	Minimum	Maximum	CV (%)	F	Signification
NPP	1,44	1	4,33	43,83	21,37	***
PPP	54,18	4,41	180,20	59,10	596,98	***
PPE	60,20	4,41	262,15	69,62	493,05	***
PGP	36,59	0	106,37	71,13	547,6	***
PGE	40,22	0	167,71	79,67	494,27	***
NGPp %	63,38	9,69	94,54	23,4		
NGEp %	66,06	9,68	95,72	22,76		

*NPP : nombre de panicules par plante ; PPP : poids de la panicule principale ; PPE : poids des panicules de la plante entière ; PGP : poids des grains de la panicule principale ; PGE : poids des grains de la plante entière ; NGEp : nombre de grains perdus pour la plante ; NGPp : nombre de grains perdus par panicule ; CV : coefficient de variation ; différence : \*\*\*p<0,001*

### 2.2.2. Influence de la date de semis sur le tallage

Le tableau 14 montre des coefficients de variation élevés pour le nombre de talles végétatives (CV = 87,35 %) et utiles (CV = 128,42 %), caractérisant une importante hétérogénéité entre les deux dates de semis pour les variables étudiées. Il apparait des valeurs minimales de 0 pour le tallage utile et végétatif, montrant que certaines accessions ne produisent pas de talles.

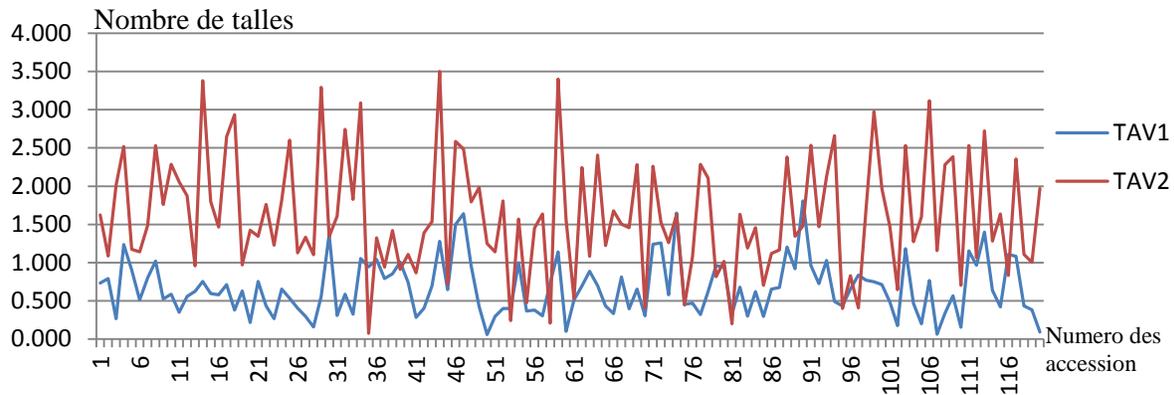
Tableau 14 : Les performances des TAV et TAU pour les deux dates de semis

Caractères	Moyenne	Minimum	Maximum	CV (%)	F	Signification
TAV	1,14	0	5,88	87,35	218,25	***
TAU	0,28	0	2,56	128,42	14,96	***

*TAV : tallage végétatif ; TAU : tallage utile ; CV : coefficient de variation.*

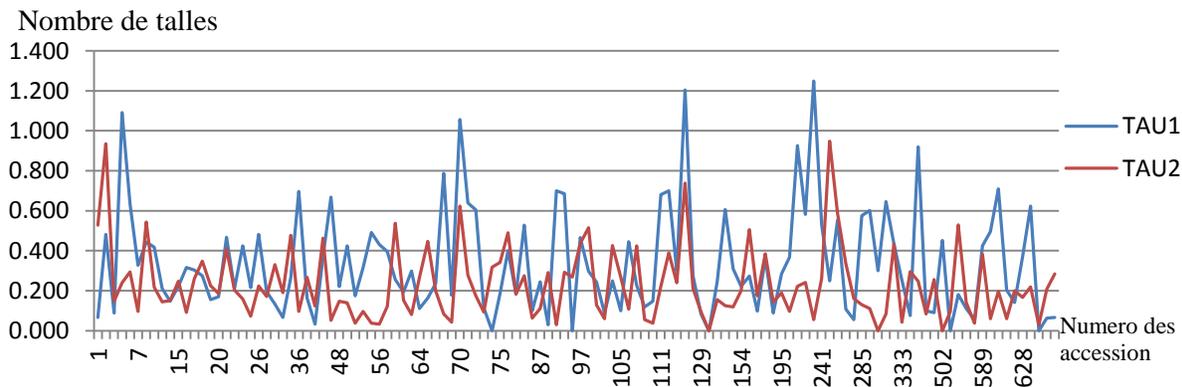
La figure 25 montre la variation du nombre de talles végétatives pour les mêmes accessions au niveau des deux dates de semis. En effet, les mêmes accessions possèdent plus de talles pour la deuxième date de semis que pour la première date. Très peu d'accessions ne varient pas le nombre de leurs talles, ce qui se caractérise par la jonction entre les deux courbes, par contre,

quelques rares accessions possèdent moins de talles quand il y'a un retard de semis caractérisé au niveau de la figure par la courbe rouge inférieure à la courbe bleue.



**Figure 25 :** *Variation du nombre de talles végétatifs en fonction de la date de semis*  
TAV1 : tallage végétatif à la première date de semis ; TAV2 : tallage végétatif à la deuxième date de semis

Cependant, au niveau de la figure 26, la courbe bleue qui représente le tallage végétatif au niveau de la première date de semis est au-dessus du tallage végétatif au niveau de la deuxième date de semis (courbe rouge). Il apparaît à quelques points des jonctions entre les deux courbes caractérisant une non modification du nombre de talles et par endroit la courbe rouge est au-dessus de la bleue, caractérisant une augmentation de nombre de talles utiles lors du retard de semis.



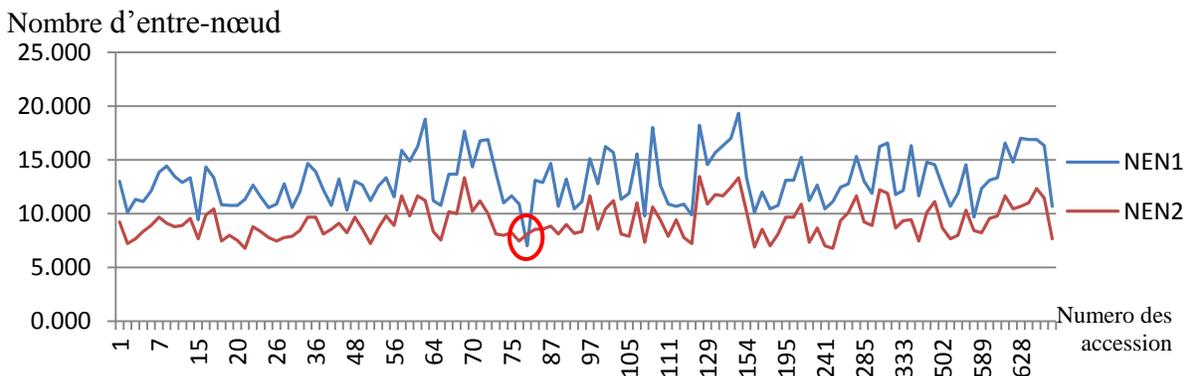
**Figure 26 :** *Variation de nombres de talles utiles en fonction de la date de semis*  
TAU1 : tallage utile à la première date de semis ; TAU2 : tallage utile à la deuxième date de semis

### 2.2.3. Influence de la date de semis sur le nombre d'entre-nœuds

Les performances moyennes du nombre d'entre-nœuds étudiées au niveau des deux dates de semis se caractérisent par de grandes valeurs de coefficients de variations (28,80), traduisant une importante hétérogénéité entre les deux dates de semis pour cette variable. L'analyse de la

variance présente une différence hautement significative entre les deux dates de semis. Les nombres d'entre-nœuds varient autour de 6 à 24.

La figure 27, présente les courbes du nombre des entre-nœuds pour les mêmes accessions au niveau des deux dates de semis. Ainsi, les entre-nœuds sont plus nombreux au niveau de la première date de semis qu'à la deuxième date de semis. On constate, une seule jonction entre les deux courbes indiquant qu'une accession a produit plus d'entre-nœuds lors du décalage de date de semis.



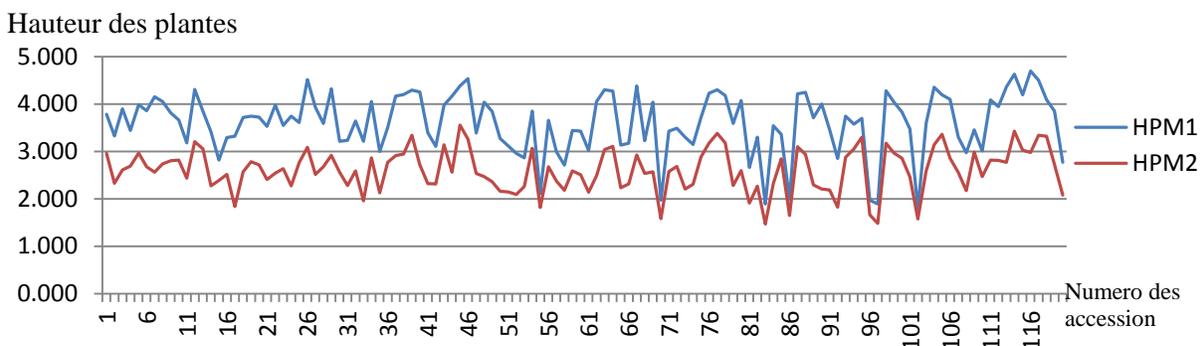
**Figure 27 :** Variation du nombre d'entre-nœuds en fonction de la date de semis

NEN1 : nombre d'entre-nœuds à la première date de semis ; NEN2 : nombre d'entre-nœuds à la deuxième date de semis

#### 2.2.4. Influence de la date de semis sur la hauteur des plantes

Le coefficient de variations est élevé (28,09) pour la variable hauteur de la plante au niveau des deux dates de semis, traduisant l'hétérogénéité entre les accessions pour les deux dates de semis. L'analyse de variances présente une différence hautement significative au seuil de probabilité de 0,1%.

La figure 28, présente la variation de la hauteur des plantes pour les mêmes accessions au niveau des deux dates de semis. En effet, les accessions sont plus grandes de taille au niveau de la première date de semis qu'au niveau de la deuxième date de semis.



**Figure 28 :** Variation de la hauteur des plantes en fonction de la date de semis

HPM1 : hauteur de la plante à la première date de semis ; HPM2 : hauteur de la plante à la deuxième date de semis

### III. DISCUSSION

#### 3.1. Sensibilité à la photopériode des accessions du Burkina Faso

L'analyse des coefficients de variation montre de grandes variations des valeurs du coefficient de photopériodisme pour toutes les variables. Une valeur élevée du coefficient de variation ( $CV > 30\%$ ) traduit une grande variabilité du caractère. Cela indique une très forte hétérogénéité entre les différentes régions pour la sensibilité des accessions à la photopériode, constituant un avantage majeur car la diversité des durées de cycle et de la sensibilité à la photopériode confère aux variétés traditionnelles de sorgho une remarquable adaptation aux milieux et au climat sahélien (Brocke *et al.*, 2002). Un retard de semis de 30 jours entraîne un raccourcissement du cycle de moins d'un jour (autour de 4 h) pour l'accession la moins photopériodique et de 24 jours pour la plus photopériodique, montrant une importante variabilité génétique des sorghos du Burkina Faso. Cette diversité englobe celle des sorghos de décrue du Mali étudiée par Bretaudeau *et al.*, (2001) qui ont trouvé un raccourcissement de cycle de 4,5 à 17,1 jours lors d'un retard de semis de 30 jours. Les accessions de la région de l'Ouest sont les plus photopériodiques car un retard de semis de 30 jours dans cette région entraîne un raccourcissement du cycle moyen de 15 jours, avec des valeurs extrêmes de 7 et 23 jours.

Le cycle des accessions décroît au fur et à mesure que la pluviométrie de la zone diminue. Dans la zone de pluviométrie inférieure à 600 mm le cycle moyen est de 73,8 jours, il est de 76,33 jours pour celle comprise entre 600 et 700 mm et de 77,78 jours pour celle supérieure à 700 mm. En outre, lors d'un retard de pluie, les accessions réduisent davantage leur cycle surtout, celles originaires des zones les plus humides. Ainsi, elles réduisent leur cycle moyen de 11,3 jours dans la zone la plus arrosée à 8,12 jours dans la moins arrosée. En effet, Kouressy *et*

*al.* (2008) qui ont travaillé sur le sorgho du Mali ont montré que la valeur moyenne du coefficient de photopériodisme passe de 0,81 à 0,4141 quand la latitude passe de 11 à 14° N. En effet, selon ces derniers, au sud, la saison des pluies est plus longue et le photopériodisme est, avant tout, un mécanisme permettant de rallonger le cycle de la plante.

L'étude de la droite de régression entre le cycle et le coefficient de photopériodisme montre une corrélation positive entre les deux variables. Ainsi, les accessions les plus tardives sont aussi plus photopériodiques et inversement les accessions les plus précoces sont moins sensibles à la photopériode. Dans la présente étude, toutes les accessions du germoplasme réduisent systématiquement leur cycle lors d'un retard de semis montrant, ainsi que toutes les accessions de cette collection sont photopériodiques. Cela corrobore les travaux de Kouressy *et al.* (2008) qui ont trouvé que toutes les accessions de sorgho du Mali, de leur étude sont photopériodiques.

La date de la floraison obtenue pour les deux dates de semis est groupée autour d'un mois et demi. Il existe un décalage de 20 jours pour le début de floraison entre les deux dates de semis et de 10 jours pour la fin de la floraison. En effet, selon Franquin (1971), chez les espèces non photopériodiques, le décalage de la date de semis est compensé à la date de floraison. Ce qui n'est pas le cas dans la présente étude. Ainsi les accessions de cette collection sont photopériodiques. Cela corrobore les travaux menés par Vaksmann *et al.*, (1996) et Barro-Kondombo (2010) qui ont travaillé respectivement sur le sorgho ouest africains et sur le sorgho du Burkina Faso.

La date à laquelle l'initiation florale a commencé coïncide avec la période à laquelle le jour est plus court que la nuit. En effet, avant la période de l'initiation florale, la durée du jour était en dessous de 10 h. Cette initiation a débuté pendant la période où la durée du jour a atteint le seuil de 10 h. Cette durée semble être un seuil critique au-dessous duquel la floraison est inhibée. Ce qui conforte la situation selon laquelle le sorgho est une plante de jours courts, mais précise davantage que, 10 h est le seuil critique de durée du jour, au-dessous duquel l'initiation florale est inhibée. Selon Vaksmann *et al.*, (1996) les sorghos ont tendance à fleurir plus rapidement vers la fin de la saison de pluies, lorsque la longueur du jour diminue.

Pendant l'année de l'expérimentation, les pluies ont atteint leur pic en juillet-août pour réduire d'intensité en septembre et sont devenues rares pour s'arrêter en fin octobre. La floraison quant à elle, était intensive du 30 septembre au 5 octobre avec des dernières floraisons le 25 octobre. En effet, la floraison a démarré pendant la période à laquelle les précipitations ont

commencé à diminuer comme s'il y'avait un signal de levée d'inhibition qui a poussé les accessions à arrêter le développement végétatif au profit du développement reproductif. Ainsi plus de 80 % des accessions ont fleuri dans les 20 jours qui ont précédé la fin de la pluie. Certaines accessions ont déclenché leur floraison plus tôt que d'autres. Cette caractéristique pourrait être utilisée par la sélection car une variété est considérée adaptée à une zone si elle fleurit dans les 20 jours qui précèdent la date moyenne de fin de saison (Soumaré *et al.*, 2008). Ouattara *et al.* (1997) ont trouvé que les sorghos du Mali sont adaptés au gradient climatique de façon à épier environ deux semaines avant la fin de la saison des pluies.

Au cours de l'initiation florale les températures minimale et maximale ont augmenté rapidement vers un seuil respectif de 34 et 24 °C. Selon Clerget *et al.*, (2004) le déclenchement de l'initiation paniculaire est sous la double dépendance de la photopériode et du sens de variation de la durée du jour ou de ses composantes, notamment les heures de lever et de coucher du soleil. Ainsi cette augmentation des températures, qui a coïncidé avec la fin des pluies, a créé un climat chaud qui a ralenti le bon développement des plantes. Ce qui aurait déclenché une action sur les gènes inhibiteurs de la phase végétative car selon Vaksman *et al.* (1996), au moins deux gènes majeurs et plusieurs gènes mineurs contrôlent le cycle végétatif. Aussi, la température interfère avec la photopériode selon deux modalités, la sommation de températures, ou températures accumulées et le thermopériodisme ou oscillation des températures diurnes ou nocturnes (Franquin, 1971). Tandis que la température influence le développement du cycle de vie des plantes, la photopériode influence l'étape végétative de l'apparition de jeune plante au déclenchement de panicule (Alagarswamy *et al.*, 1998).

La répartition des coefficients de photopériodisme en classe, a permis d'observer qu'un retard de semis de 30 jours, entraîne sur les accessions de la région du Nord-Ouest une réduction importante de leur cycle entre 6 et 9 jours. Seules les accessions de l'Ouest et de l'Est peuvent réduire leur cycle respectivement de 21 à 24 jours et de 24 à 29. La sélection du caractère sensibilité à la photopériode doit être recherché dans ces deux derniers groupent qui réduisent davantage leur cycle que les autres.

### **3.2. L'influence du photopériodisme sur les caractères**

Les faibles valeurs de l'écart-type des variables observées dans le deuxième semis traduisent une distribution des valeurs de ces variables autour de la moyenne. Cela ne masque toutefois pas

la variabilité caractérisée par de grandes valeurs pour ces mêmes variables dans le premier semis révélant une dispersion de ces valeurs autour de la moyenne. L'observation des grandes valeurs des coefficients de variation pour les deux semis traduit une importante hétérogénéité entre les accessions pour ces différentes variables. Ces variables sont des indicateurs de production et de productivité, ce qui permet de voir l'importance en termes de perte lors d'un retard de semis. En effet, cela entraîne la perte en moyenne de 63,38 % des graines de panicule principale correspondant à une perte moyenne de 66 % pour la plante. Cela pourrait être expliqué par la sensibilité à la photopériode des accessions car selon Touré *et al.*, (1998), les sorghos sensibles à la photopériode tendent à réduire leur nombre de grains par panicule de l'ordre de 34 à 58 % suite à un retard de semis de 15 à 30 jours.

L'étude montre que toutes les accessions produisent des talles végétatives quelle que soit la date de semis, cependant, toutes n'arrivent pas absolument à faire produire leurs talles. Malgré une importante production de talles végétatives lors d'un retard de semis, il n'en demeure pas moins que le nombre de talles utiles à leur niveau soit inférieur qu'au niveau du premier semis. Ainsi, quand un retard de semis est effectué sur des accessions photopériodiques, celles-ci produiront davantage de talles mais très peu de ces talles arriveront à produire des graines. Ce qui implique que le nombre de panicules récoltables décroît avec la date de semis. Cela pourrait être pris en compte dans un programme de sélection pour contribuer à l'augmentation de la production des variétés.

Les performances moyennes du nombre d'entre-nœuds étudié avec les deux dates de semis donnent de grandes valeurs de coefficients de variations, caractérisant une importante hétérogénéité entre les accessions pour cette variable. Le nombre d'entre-nœuds varie de 7 à 19,3 à la première date de semis contre 6,8 à 13,4 à la deuxième date de semis. Cette diversité phénotypique liée à la sensibilité à la photopériode des accessions du Burkina Faso et caractérisée par la diminution du nombre d'entre-nœuds est une caractéristique variétale importante. Les grandes valeurs du coefficient de variation pour la variable hauteur de la plante déterminent une importante diversité entre les accessions pour ce caractère.

D'une manière générale, le retard de semis a entraîné la diminution des valeurs phénotypiques (performances) des écotypes caractérisée par la diminution des tailles, la réduction du cycle et du rendement. Pour Traoré *et al.* (2000), cela est une caractéristique propre

aux plantes photopériodiques, qui interrompent le développement végétatif au profit de la production grainière. Ainsi cette interruption se fait sans tenir compte du développement complet de la plante, mais agit suivant un signal de détresse qui intervient pour permettre le passage de la phase végétative à la phase reproductive afin d'assurer la pérennisation de l'espèce.

## **CONCLUSION PARTIELLE**

L'étude du photopériodisme des accessions de sorgho du Burkina Faso a permis de déterminer une importante diversité de réaction à la photopériode. Toutes les accessions étudiées sont sensibles à la photopériode et réduisent, lors d'un retard de semis de 30 jours, leur cycle autour de 4h à 24 jours. Les accessions de la région de l'Ouest sont les plus sensibles à la photopériode car lors de ce retard de semis, ses accessions raccourcissent leur cycle de 7 et 23 jours. L'étude montre aussi que, 46 % des accessions présentent une sensibilité modérée à la photopériode ( $0 < K \leq 0,3$ ), 38 % une sensibilité relativement importante à la photopériode ( $0,3 < K \leq 0,6$ ) et seulement 16 % une forte sensibilité à la photopériode ( $0,6 < K \leq 0,9$ ).

Plus de 80 % des accessions ont fleuri dans les 20 jours qui ont précédé la fin de la pluie. Certaines accessions ont initié leur floraison plus tôt que d'autres. Cette caractéristique pourrait être utilisée par la sélection car une variété est considérée adaptée à une zone si elle fleurit dans les 20 jours qui précèdent la date moyenne de fin de saison. L'initiation florale a débuté pendant la période où la durée du jour a atteint le seuil de 10 h et les températures ont atteint des seuils de 24 et 34 °C, respectivement pour le minimal et le maximal.

Il faut également retenir, qu'un retard de semis sur des accessions photopériodiques, induit une augmentation de la production de talles mais très peu de ces talles sont fructifères d'où une décroissance du nombre de panicules récoltables selon le décalage dans la date de semis. Cette étude a permis, également de montrer que lors d'un retard de semis, au-delà de la diminution des performances des accessions, liée à la diminution des tailles des organes, les accessions perdent 10 à 96 % des graines de leurs panicules principales.

## CHAPITRE IV. CARACTERISATION MOLECULAIRE DES ACCESSIONS DE SORGHOS GRAINS A L'AIDE DE MARQUEURS MICROSATELLITES

### INTRODUCTION

L'évaluation agromorphologique des accessions du Burkina a révélé une importante diversité. La caractérisation phénotypique fournit une estimation brute de la moyenne des variantes fonctionnelles des gènes d'un individu ou d'une population donnée. Cependant, la plupart des phénotypes ne reflètent pas toujours la vraie variation génétique car ils sont sous l'influence de l'environnement qui interagit avec le génotype (Lallemand, 2004).

L'information sur la diversité génétique est essentielle pour optimiser les stratégies de conservation et d'utilisation des ressources phytogénétiques (Bellon *et al.*, 1997). Les ressources nécessaires pour la conservation étant limitées, l'établissement des priorités est souvent nécessaire. De nouveaux outils d'estimation de la diversité, les marqueurs moléculaires donnent des informations qui révèlent le niveau de polymorphisme au niveau de l'ADN. Les plus utilisés ces dernières années pour évaluer la diversité génétique du sorgho sont les microsatellites (Djè *et al.*, 1998 ; Barnaud *et al.*, 2007 ; Deu *et al.*, 2008 ; Wang *et al.*, 2009 ; Barro-Kondombo, 2010 ).

Les microsatellites (SSR) sont hypervariables sur un locus, ils montrent souvent des dizaines d'allèles différents l'un de l'autre dans le nombre de répétitions. Ils sont encore les marqueurs de choix pour les études sur la diversité. L'utilisation des SSR sur les accessions de sorgho a révélé, au Burkina Faso, une importante diversité génétique des accessions de sorgho sucrés et non sucrés (Barro-Kondombo, 2010 ; Nebié, 2014 et Sawadogo, 2015).

Collecté depuis plus de 25 ans dans le cadre de la préservation des ressources génétiques des sorghos du Burkina Faso, le présent matériel végétal, pourrait permettre de mettre en exergue une diversité génétique dans un contexte de changement climatique qui a occasionné et occasionne d'importantes érosions génétiques. Ainsi, l'objectif de ce chapitre est d'étudier la diversité génétique de ces accessions de sorgho conservées dans le germoplasme par l'utilisation des marqueurs SSR afin de les comparer à celles récemment collectées et évaluées avec les mêmes outils.

## I. MATERIELS ET METHODE

### 1.1. Matériel végétal et marqueurs moléculaires utilisés

Les 120 accessions utilisées dans les deux activités précédentes ont été choisies pour cette étude mais seules 64, qui ont germé, ont été retenues et caractérisées à l'aide de vingt marqueurs microsatellites. Les vingt marqueurs microsatellites ont été choisis non seulement à cause de leur polymorphisme révélé dans des études antérieures (Barro-Kondombo, 2010, Nebié, 2014 et Sawadogo, 2015) mais aussi pour couvrir l'ensemble des dix chromosomes du génome du sorgho. Les caractéristiques des différents marqueurs utilisés sont dans le tableau 15

Tableau 15 : Caractéristiques des 20 marqueurs microsatellites utilisés dans l'étude

N°	Locus	Nombre de répétitions nucléotidiques	Chromosomes	TM (°C)
1	gpsb067	(GT) 10	8	49
2	gpsb089	(TG) 9	1	50
3	gpsb123	(CA) 7 (GA) 5	8	50
4	gpsb151	(CT) 12	4	50
5	Xtxp10	(CT) 14	9	50
6	Xcup11	(GCTA) 4	3	54
7	Xcup14	(AG) 10	3	54
8	Xcup63	(TTTA)5	1	54
9	Xcup07	(CCA)8	10	54
10	Xtxp320	(AAG) 20	1	54
11	Xtxp40	(GGA) 7	7	55
12	Xtxp15	(TC) 16	5	55
13	Xtxp145	(AG) 22	6	55
14	Xtxp295	(TC) 19	7	55
15	Xtxp136	(GCA) 5	5	55
16	Xtxp57	(GT) 21	6	55
17	SbAGB02	(AG) 35	7	55
18	sb5-206	(AC) 13 (AG) 20	9	55
19	sb6-84	(AG) 14	2	55
20	sb4-72	(AG) 16	6	55

### 1.2. Méthodes

#### 1.2.1. Extraction de l'ADN

Les graines des accessions ont été semées dans le jardin expérimental de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO le 21 mai 2015, dans des pots contenant du terreau. Pour chaque accession, les feuilles fraîches d'une seule plantule âgée de 20 jours ont été récoltées, écrasées à

l'aide d'un pilon et du papier parafilm puis immaculées sur la carte FTA et séchées à température ambiante.

Au Laboratoire de Génétique et de Biotechnologie végétales de l'INERA/Kamboinsé, des disques d'un mm de diamètre sont poinçonnés sur ces cartes. Chaque disque est lavé deux fois avec 200 µl d'éthanol 70 % puis rincés, après chaque lavage, avec la même quantité de tampon Tris EDTA (TE). Le disque est ensuite séché à température ambiante et transféré dans le tube PCR contenant au préalable du premix auquel sont ajoutés 18 µl d'eau ultra-pure et 0,1 µl de chaque amorce Forward (F) et Reverse (R) pour l'amplification.

### **1.2.2. Amplification PCR et révélation**

Les réactions PCR ont été réalisées dans un volume final de 25 µl contenant 1 µl de l'amorce 3' (forward primer), 1 µl de l'amorce 5' (reverse primer), 18µl d'eau ultra pure, 5 µl de premix PCR composé de 1U de *Taq* polymérase, 250 µM de Tris-HCL, 10 mM de KCl, 1,5 mM de MgCl<sub>2</sub> et un disque provenant de la carte FTA contenant l'ADN génomique de l'accession à amplifier de concentration variant de 0,25 à 0,50 ng/µl.

L'amplification PCR a été réalisée suivant un programme composé d'une phase de dénaturation initiale à 94 °C (4 mn), suivie d'une série de 35 cycles avec une dénaturation à 94 °C (45s), une hybridation à TM (1 mn), 72 °C (1 mn 30 s), et une élongation finale à 72 °C pendant 4 mn. Les produits d'amplification ont ensuite été soumis à une électrophorèse à 100 V, sur gel d'agarose à la concentration de 2 % dans lequel 15 µl de Bromure d'Ethidium 5 % (BET) ont été ajoutés comme révélateur fluorescent. Le temps de migration a été de 1 h dans un tampon Tris Borate EDTA 0,5x (TBE). Les dépôts ont été réalisés en présence d'un marqueur de poids moléculaire constitué de deux microsatellites de tailles différentes variant de 50 bp à 1500 bp.

A la fin de la migration, la révélation des produits amplifiés a été faite sous lumière ultraviolette. Le gel de migration a été ensuite photographié avec un appareil de marque Canon Power Shot A620, 7. 1 Mégapixel.

## **1.3. Analyses statistiques des données moléculaires**

### **1.3.1. Analyse de la diversité génétique intra-accessions**

Les différents paramètres ci-dessous ont été utilisés pour estimer le niveau de diversité des accessions de sorgho grains du Burkina Faso.

✓ Le taux de polymorphisme (**P**) est la proportion de locus polymorphes ou taux de polymorphes ou simplement polymorphisme. Il rend compte de la proportion de locus polymorphes par rapport au nombre total de locus. Une population sera dite polymorphe pour un locus donné, si la fréquence allélique de l'allèle le plus fréquent est inférieure à 0,95.

✓ Le nombre total d'allèles ( $A_t$ ) est le nombre total d'allèles recensés dans la population. Sa mesure en allèles est ( $A_t-1$ ) de manière que dans une population monomorphe, elle soit égale à 0 ;

✓ Le nombre moyen d'allèles par locus ( $A$ ) est le rapport du nombre d'allèles au locus ( $n_i$ ) sur le nombre de locus étudiés ( $k$ ) :

$$A = \frac{1}{k} \sum_k^1 n_i ;$$

✓ La richesse allélique ( $R_s$ ) est le nombre d'allèles présent à un locus. Ce paramètre de diversité génétique dépend énormément de la taille de l'échantillon. Il a été déterminé grâce au logiciel FSTAT version 2.9.3.2 avec la méthode de raréfaction. Ce paramètre est sensible à la présence ou à l'absence des allèles distincts ou rares (< 5 %) dans une population, car un niveau élevé d'erreur d'échantillonnage pourrait être lié à la détection de tels allèles d'où la nécessité d'estimer le nombre d'allèles majeurs (fréquence > 5 %).

✓ Le nombre d'allèles rares ( $A_r$ ), est le nombre d'allèles mineurs dont la fréquence est inférieure à 5 %. Comme détaillé dans Foulley *et al.* (2006), les richesses alléliques privées de chaque race et les distances entre races peuvent être estimées en appliquant la raréfaction ou l'extrapolation pour tenir compte des tailles d'échantillon variables.

✓ Le nombre d'allèles privés ( $A_p$ ) : est le nombre d'allèles propres ou spécifiques à chaque population.

✓ L'hétérozygotie moyenne attendue ( $H_e$ ) ou indice ( $D$ ) de diversité génique de Nei est la probabilité qu'à un locus donné, deux allèles quelconques aléatoirement choisis dans la population soient différents (Nei, 1978). :  $H_e = \frac{n}{n-1} (1 - \sum p_i^2)$ , où  $p_i$  représente la fréquence de l'allèle  $i$  au locus considéré et  $n$ , le nombre d'accessions. La moyenne d' $H_e$  pour tous les locus est un estimateur de la variabilité génétique de la population. Elle est applicable aux gènes des différents niveaux de ploïdie et dans les différents systèmes de reproduction (Hedrick, 2005).

✓ L'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) correspond au rapport entre le nombre d'individus hétérozygotes observés dans l'ensemble de la collection et le nombre total d'individus et est déterminée par locus.  $H_o = \frac{\text{Nombre d'individus hétérozygotes}}{\text{Nombre total d'individus}}$ .

La somme des  $H_o$  par locus sur le nombre total de locus correspond à l'hétérozygotie moyenne observée par locus.

Le taux de polymorphisme et l'hétérozygotie observée ont été déterminés avec le logiciel GENETIX 4.03 (Belkhir *et al.*, 2002) et les autres paramètres génétiques sont estimés avec FSTAT V2.9.3.2 (Goudet, 2001).

### 1.3.2. Analyse de la diversité génétique intergroupe d'accessions

Ces paramètres ont été étudiés à trois niveaux à savoir les individus (I), les sous-populations (S) qui sont ici les zones, les régions, les races définies à priori et la population totale (T) qui est constituée des accessions de l'échantillon. Les paramètres de fixation  $F_{IS}$ ,  $F_{ST}$  et  $F_{IT}$  constituent les F-statistiques de Wright (1965) et traduisent les situations ci-dessous.

$F_{IS}$  estime l'écart à la panmixie dans une sous-population. Il exprime la variabilité génétique au sein des individus par rapport à la sous-population. Il mesure l'écart entre la population d'individus à l'état hétérozygote obtenu ( $H_o$ ) et le taux hétérozygotie attendu ( $H_e$ ), il est calculé selon la formule :

$$F_{IS} = 1 - \left(\frac{h_o}{h_e}\right),$$

Il mesure l'excès ou le déficit d'hétérozygote à l'intérieur de chaque population. Ses valeurs varient de -1 (excès en hétérozygotes), à +1 (déficit en hétérozygotes).

$F_{ST}$  (S pour sous-population et T pour population Totale) mesure la différenciation génétique entre deux sous-populations. Il donne le déficit en hétérozygotes issu de la structuration en sous-populations, et exprime ainsi les différences de fréquences alléliques entre les sous-populations. Sa valeur est toujours positive : 0 (pas de structuration) à 1 (toutes les sous-populations sont fixées pour l'un ou l'autre des allèles).

$F_{IT}$  (I pour individus et T pour population Totale) mesure l'écart à la panmixie à l'échelle globale de la population ou le déficit global en hétérozygotes pour l'ensemble de la population.

Comme pour le  $F_{IS}$ , les valeurs du  $F_{IT}$  varient de -1 (excès en hétérozygotes) à +1 (déficit en hétérozygotes)

Ces trois indices de fixation sont unis par une relation mathématique :  $F_{ST} = 1 - \frac{(1-FIT)}{(1-FIS)}$

Les estimateurs des F-statistiques ont été déterminés selon la méthode de Weir et Cockerham (1984) et calculés avec le logiciel FSTAT version 2.9.3.2.

L'étude de la structuration et de l'organisation génétique des différentes sous-populations et de la population globale a été réalisée à l'aide du logiciel DARWIN V 5.0 (Perrier *et al.*, 2006), à travers respectivement l'analyse factorielle sur tableau de distances (AFTD) et la classification selon la méthode « Neighbor-Joining ». Ces analyses ont été effectuées à partir de la matrice de dissimilarités. L'estimation de l'indice de dissimilarité entre les paires des différents génotypes a été effectuée selon la procédure « simple matching ».

Cette organisation estime la vraisemblance d'une structuration en sous-populations ou la vraisemblance que les individus soient originaires de plusieurs populations ancestrales mélangées, en inférant la proportion du génome de chaque individu issue de ces possibles populations ancestrales.

## II. RESULTATS

### 1.1. Diversité génétique des accessions de sorgho du Burkina Faso

Vingt marqueurs microsatellites ont été utilisés pour évaluer le polymorphisme moléculaire de 64 accessions de sorgho du Burkina Faso au travers des différents paramètres de diversité génétiques (Tableau 16). Ces marqueurs, tous polymorphes, ont permis de détecter 65 allèles avec un nombre d'allèles variant de 2 à 6 par locus et une richesse allélique ( $A$ ) de 3,25 allèles par locus. L'hétérozygotie attendue par locus sans biais ( $H_e$ ) de l'ensemble de la collection est de 0,49 et varie de 0,32 pour le locus sb6-84 à 0,82 pour le locus gpsb123. Le taux d'hétérozygotie observé par locus ( $H_o$ ) est nul pour 13 locus, atteint une valeur exceptionnelle de 0,873 pour le locus gpsb123 et une valeur moyenne relativement faible de 0,07 pour l'ensemble de la collection. La différenciation génétique intra-accessions ( $F_{IS}$ ) est très élevée pour l'ensemble des loci ( $\geq 0,93$ ), sauf pour les locus Xtxp10 et gpsb123, respectivement 0,39 et -0,07, traduisant un déficit en hétérozygote.

Tableau 16 : Description de la diversité des 64 accessions de sorgho du Burkina Faso par locus

Locus	A	Hs	He	Ho	F <sub>IS</sub> (W&C)
gpsb067	4	0,71	0,71	0,00	1,0
gpsb89	2	0,12	0,12	0,00	1,0
gpsb123	6	0,81	<b>0,81</b>	0,87	-0,07
gpsb151	5	0,67	0,67	0,00	1,00
sb4-72	3	0,32	0,32	0,02	0,95
sb5-206	4	0,55	0,55	0,03	0,94
sb6-84	2	0,32	<b>0,32</b>	0,00	1,00
SbAGB02	4	0,34	0,35	0,00	1,00
Xcup07	3	0,45	0,46	0,02	0,97
Xcup14	3	0,39	0,40	0,00	1,00
Xtxp136	2	0,38	0,38	0,00	1,00
Xtxp10	5	0,66	0,67	0,41	0,39
Xtxp145	3	0,36	0,36	0,02	0,96
Xtxp15	2	0,34	0,34	0,00	1,00
Xtxp295	4	0,61	0,62	0,00	1,00
Xtxp320	2	0,50	0,50	0,00	1,00
Xtxp57	4	0,69	0,69	0,05	0,93
Xtxp11	2	0,50	0,50	0,00	1,00
Xtxp63	2	0,39	0,40	0,00	1,00
Xtxp40	3	0,59	0,60	0,00	1,00
Ensemble des locus	65	0,48	0,49	0,07	0,86

*A : nombre d'allèles par locus, Hs : hétérozygotie attendue calculée avec biais, He : hétérozygotie attendue calculée sans biais, Ho hétérozygotie observée.*

Le tableau 17, permet d'observer des écart-types élevés aussi bien pour les paramètres de diversité de NEI, les taux d'hétérozygotie espéré avec et sans biais (Hs = 17,29 et He = 17,44) ainsi que pour le taux d'hétérozygotie observé (20,96).

Tableau 17 : Ecart-types des paramètres de diversité

	Hs	He	Ho
Ecart-type	17,29	17,44	20,96

## **1.2. Structuration de la diversité génétique des sorghos du Burkina Faso**

Les accessions de sorgho de la collection présentent dans le tableau 18, un taux de polymorphisme de 100 % avec un nombre moyen de 3,25 d'allèles par locus et des taux d'hétérozygotie observée (0,07) et attendus (0,489) relativement faibles. Les allèles rares (< 5 %), au nombre de 11, représentent 16,92 % des 65 allèles détectés. La différenciation génétique intra-accessions ( $F_{IS}$ ) donne une valeur élevée de 0,857, traduisant un déficit en hétérozygote.

### **1.2.1. Structuration en fonction des zones climatiques**

La structuration de la diversité génétique entre les accessions en fonction des zones climatiques (Tableau 18) montre que, les zones sahélienne, sub-sahélienne, nord-soudanienne et sud-soudanienne possèdent 33, 58, 41 et 37 allèles détectés, respectivement. L'indice de différenciation interzone ( $F_{ST} = 0,36$ ) est élevé, montrant une très grande différenciation entre les zones. Par contre les taux d'hétérozygotie observée sont faibles ( $H_0 = 0,06$  pour la zone sahélienne,  $H_0 = 0,07$  pour la sub-sahélienne,  $H_0 = 0,07$  pour la nord-soudanienne et  $H_0 = 0,09$  pour la sud-soudanienne), spécifiant de faibles pollinisations croisées entre les accessions. La mesure du déficit global ( $F_{IT}$ ) en hétérozygotes pour l'ensemble des accessions donne une valeur de 0,88, montrant un déficit global en hétérozygote. Les accessions de la zone sub-sahélienne possèdent six allèles rares et six allèles privés, contre deux allèles rares pour les accessions des zones sahélienne et nord-soudanienne et une pour les accessions de la zone sud-soudanienne. En plus, la zone sub-sahélienne possède l'indice de différenciation génétique intragroupe ( $F_{IS}$ ) le plus élevé (0,83) avec un taux de polymorphisme de 95 % le plus élevé. Les accessions de la zone sahélienne quant à elles, présentent des performances génétiques les plus faibles avec un taux de polymorphisme de 50 %, une richesse allélique de 1,65 allèle en moyenne par locus pour un total de 33 allèles et un taux d'hétérozygotie espérée de 0,19.

### **1.2.2. Structuration en fonction des régions agro-écologiques**

La structuration des accessions par région observée dans le tableau 18, met en exergue les accessions de la région du Nord-Ouest avec le plus grand nombre d'allèles (47), six allèles rares, trois allèles privés et un taux de polymorphisme de 85 %. L'indice de différenciation inter-région ( $F_{ST}$ ) est de 0,481 et est moins élevé que celui des zones climatiques, montrant tout de même une très grande différenciation entre les zones et la mesure du déficit global ( $F_{IT}$ ) en

hétérozygotie pour l'ensemble des accessions est de 0,88, montrant un déficit global en hétérozygotes.

### 1.2.3. Structuration en fonction des coefficients de photopériodisme

L'évaluation des paramètres de diversité génétique relative aux coefficients de photopériodisme du tableau 18, révèle une différenciation intergroupe ( $F_{ST}$ ) très faible de 0,04 entre les trois groupes spécifiant une faible différenciation. La différenciation intragroupe ( $F_{IS}$ ) présente des indices élevés avec des taux de polymorphisme élevés pour l'ensemble des groupes, montrant un déficit en hétérozygote. La mesure du déficit global ( $F_{IT}$ ) en hétérozygotes pour l'ensemble des accessions donne une valeur de 0,860, traduisant un déficit global en hétérozygote. Le groupe des accessions les moins photopériodiques avec le coefficient de photopériodisme compris entre 0 et 3 ( $0 < K \leq 0,3$ ) présente le plus grand nombre d'allèles (60) et possède en moyenne 3 allèles avec 4 allèles rares. Le groupe des accessions moyennement photopériodiques ( $3 < K \leq 0,6$ ), malgré leur grand nombre (25 sur 51), renferme 4 allèles rares aucun allèle privé, mais a un indice de différenciation intragroupe inférieur aux autres.

### 1.2.4. Structuration en fonction de la race botanique

L'indice de différenciation inter-race botanique est très faible avec un  $F_{ST}$  de 0,02 (Tableau 18) traduisant une faible différenciation. Avec un taux de polymorphisme de 100 %, les accessions de la race *guinea* possèdent 19 allèles privés et sept allèles rares. Par contre les accessions de la race *durra* ne possèdent ni des allèles rares, ni des allèles privés, mais a un indice de différenciation intra-race (0,89) supérieur à la première race spécifiant un déficit en hétérozygote. La mesure du déficit global ( $F_{IT}$ ) en hétérozygotes pour l'ensemble des accessions donne une valeur de 0,863 inférieure, témoignant un déficit global en hétérozygote.

Tableau 18 : Paramètres de diversité et de différenciation des sorghos grains du Burkina Faso en fonction des différents facteurs de structuration

Facteur	N	P(0,95)	A <sup>t</sup>	A <sup>r</sup>	A <sup>p</sup>	A	H <sub>s</sub>	He	Ho	F <sub>IS</sub>	F <sub>IT</sub>	F <sub>ST</sub>
<b>Collection totale</b>	64	1,00	65	11	0	3,25	0,485	0,489	0,070	0,86		
<b>Zones climatiques</b>	64		65	6	11					0,81	<b>0,878</b>	<b>0,361</b>
Sahélienne	9	0,50	33	0	2	1,65	0,175	0,185	0,061	0,68		
Sub-sahélienne	39	0,95	58	6	6	2,90	0,420	0,426	0,072	0,83		
Nord-soudanienne	10	0,70	41	0	2	2,15	0,267	0,282	0,065	0,79		
Sud-soudanienne	6	0,65	37	0	1	1,85	0,296	0,324	0,090	0,74		
<b>Régions</b>	61		65	6	9		0,274		0,07	0,75	<b>0,873</b>	<b>0,481</b>
Nord	9	0,50	33	0	1	1,65	0,175	0,185	0,061	0,68		
Nord ouest	27	0,75	47	6	3	2,40	0,303	0,309	0,069	0,78		
Centre nord	9	0,75	37	0	1	1,90	0,270	0,286	0,087	0,71		
Centre sud	10	0,70	43	0	3	2,15	0,267	0,282	0,065	0,78		
Ouest	6	0,65	37	0	1	1,85	0,296	0,324	0,090	0,74		
<b>Photopériodisme</b>	51		64	5	6		0,497	0,517	0,069	0,85	<b>0,860</b>	<b>0,043</b>
0<K≤0,3 (faible)	18	1,00	60	1	4	3,00	0,432	0,445	0,067	0,85		
0,3<K≤0,6 (moyen)	25	1,00	58	4	0	2,90	0,476	0,486	0,076	0,84		
0,6<K≤0,9 (fort)	8	0,95	53	0	2	2,65	0,479	0,512	0,060	0,89		
<b>Race botanique</b>	45		59	7	19		0,459	0,452	0,058	0,86	<b>0,863</b>	<b>0,02</b>
Guinea	33	1,00	59	7	19	2,95	0,447	0,454	0,066	0,86		
Durra	6	0,75	40	0	0	2,0	0,383	0,419	0,050	0,89		

*N* = nombre d'accessions, *A<sup>t</sup>* = nombre total d'allèles, *A<sup>r</sup>* = nombre d'allèles rares, *A<sup>p</sup>* = nombre d'allèles privés, *A* = richesse allélique non corrigée ou nombre moyen d'allèles par locus, *R<sub>s</sub>* = richesse allélique corrigée (entre parenthèses est indiqué le nombre d'accessions utilisées pour calculer la richesse allélique corrigée pour chacun des niveaux de structuration), *H<sub>s</sub>* : hétérozygotie attendue avec biais, *He* : hétérozygotie attendue sans biais, *Ho* : hétérozygotie observée, *P* (0,95) : polymorphisme au seuil de 95%, *F<sub>IS</sub>* : indice de différenciation génétique intra-population, *F<sub>ST</sub>* = indice de différenciation génétique inter-population, *F<sub>IT</sub>* : déficit global en hétérozygotes, les valeurs de *F<sub>ST</sub>* ont été calculées avec les sous-populations dont l'effectif est supérieur à 5

### 1.2.5. Structuration de la diversité génétique de l'ensemble de la collection

La structuration de la diversité génétique (tableau 19) entre les paires des zones agro-climatiques par les indices de différenciation interzone (*F<sub>ST</sub>*) donne des valeurs élevées entre la zone sahélienne et la zone nord-soudanienne (*F<sub>ST</sub>* = 0,63), entre la zone sahélienne et la zone sud-soudanienne (*F<sub>ST</sub>* = 0,55) et entre la zone nord-soudanienne et la zone sud-soudanienne (*F<sub>ST</sub>* = 0,54), traduit une très grande différenciation entre ces groupes. Ces indices de différenciation sont significativement différents. Les indices de différenciation inter-région entre paires de région donnent aussi des valeurs élevées, la valeur la plus petite (*F<sub>ST</sub>* = 0,33) est obtenue entre les

régions du centre-sud et du nord-ouest, révélant une très grande différenciation entre ces deux groupes.

La différenciation génétique intergroupe pour le coefficient de photopériodisme donne des  $F_{ST}$  très faibles entre paires de groupes avec des différences très significatives entre celles-ci dénotant la faible différenciation entre ces groupes. La valeur maximale est obtenue avec les accessions faiblement photopériodiques et les accessions hautement photopériodiques ( $F_{ST} = 0,1$ ), traduit une différenciation modérée entre ces deux groupes. Les races botaniques *guinea* et *durra* quant à elles affichent un indice de différenciation faible de 0,02, traduisant une faible différenciation entre ces deux groupes.

Tableau 19 : Indice de différenciation génétique ( $F_{ST}$ ) des différents facteurs de structurations

<b>Zones agro-climatiques</b>				
	sahélien	Sub- sahélien	Nord-soudanien	
Sub-sahélien	0,34*			
Nord-soudanien	0,63**	0,25		
Sud-soudanien	0,55**	0,32*	0,54**	
<b>Regions homogènes</b>				
	Nord	Nord-ouest	Centre-nord	Centre-sud
Nord-ouest	0,45**			
Centre-nord	0,58**	0,41**		
Centre-sud	0,63**	0,33**	0,48**	
Ouest	0,55**	0,5**	0,36**	0,54**
<b>Coefficients de photopériodisme</b>				
	$0 < K \leq 0,3$	$0,3 < K \leq 0,6$		
$0,3 < K \leq 0,6$	0,02**			
$0,6 < K \leq 0,9$	0,1**	0,05**		
<b>Races botaniques</b>				
	<i>Guinea</i>			
<i>Durra</i>	-0,02*			

\* : différence significative à 5 % \*\* : différence significative à 1%, ns : différence non significative à 5 %

Le plan 1×2 de l'analyse factorielle sur tableau de distance (AFTD) de la figure 29, réalisée à partir des données matricielles, met en évidence une structuration de la diversité génétique en 3 groupes. Le premier groupe est constitué des accessions des régions du Centre-Nord, de l'Est et de l'Ouest. Il est subdivisée en 2 sous-groupes, dont le premier (1a), négativement corrélée à l'axe 1 et positivement à l'axe 2 est constituée des accessions des trois régions, par contre le deuxième sous-groupe (1b), négativement corrélé à l'axe 1 est constitué exclusivement des accessions de la région de l'Ouest. Le deuxième groupe, constitué des accessions du Centre-Sud et du Nord-Ouest est positivement corrélé aux deux axes. Enfin le groupe trois constitué des accessions du Nord et du Nord-Ouest est subdivisé en 2 sous-groupes, dont le premier, constitué des accessions du nord-ouest est corrélé positivement à l'axe 1 et négativement à l'axe 2 et le second, constitué exclusivement des accessions du Nord est négativement corrélé aux 2 axes.

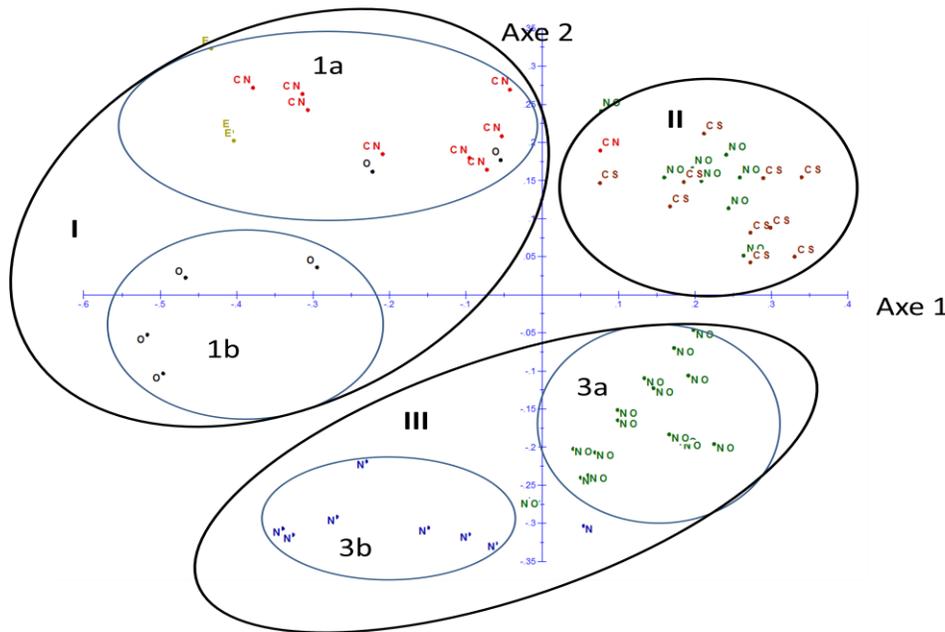


Figure 29 : Structuration des 64 individus sur les axes 1 x 2 de l'AFTD (45,40% d'inertie)

Une représentation arborée par la méthode de «Neighbor-Joining» (Figure 30) donne trois groupes génétiques. L'accession 225 de la région Centre-Sud, appartenant à la zone agro-climatique nord-soudanienne n'est pas classé.

Le groupe I est constitué de 18 accessions des zones soudanienne et sub-sahélienne. Il regroupe majoritairement des accessions de la race *guinea* et quelques *caudatum* appartenant aux régions du Centre-Nord, de l'Ouest et de l'Est.

Le groupe II est constitué essentiellement des accessions de la zone agro-climatique nord-soudanienne. Au nombre de 9, ces accessions sont de race *guinea* et *bicolor* ; et appartiennent à la région du Centre-Sud.

Enfin le groupe III, constituant la grande majorité de l'échantillon (34 accessions) est constitué des accessions des zones sahélienne et sub-sahélienne. Il renferme majoritairement la race *guinea*, mais y figure également les races *caudatum*, *bicolor* et *durra*. Il regroupe les accessions des régions du Nord et du Nord-Ouest.

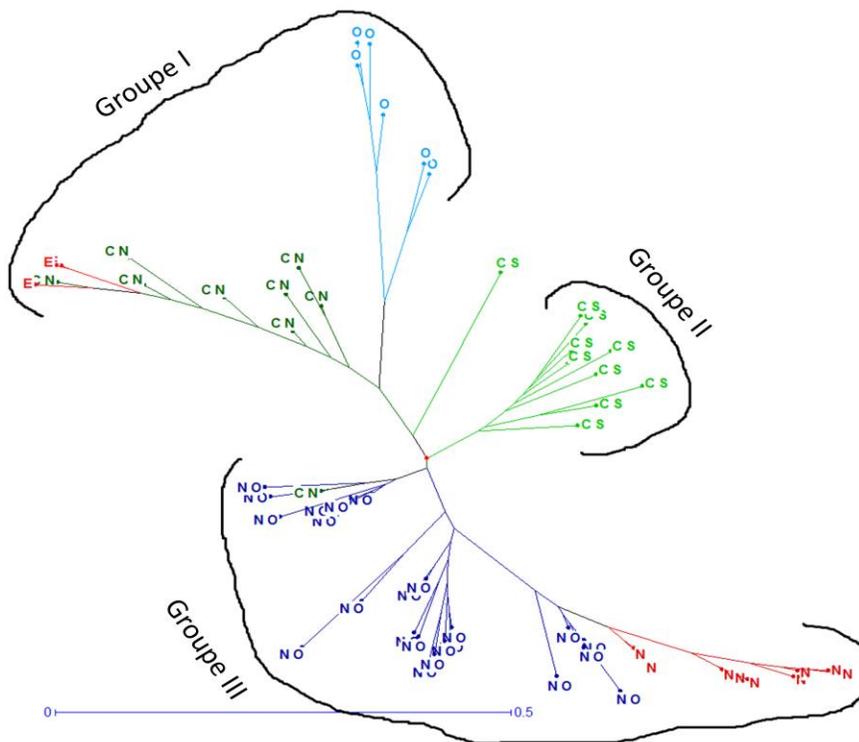


Figure 30 : Dendrogramme construit à partir de la matrice de dissimilarités selon la méthode Neighbour-Joining mettant en exergue la répartition selon les zones.

Légende : Sahélien, Sub-sahélien, Nord-soudanien, Sud-soudanien

Le test de différenciation des accessions (Tableau 20) indique l'existence de différences significatives dans les fréquences de marqueurs entre les trois groupes, avec un  $F_{ST} = 0.36$ , signalant une très grande différenciation. La mesure du déficit global ( $F_{IT}$ ) en hétérozygotes pour l'ensemble des accessions donne une valeur de 0,88, traduisant un déficit global en hétérozygote. Les différentes performances génétiques des trois groupes génétiques de sorghos grains du Burkina Faso permettent de faire les observations suivantes :

- le groupe I, avec 18 accessions, possède le taux de polymorphisme le plus élevé de 100 %, les taux d'hétérozygotie attendu (0,4) et observée (0,08) ayant les plus grandes valeurs. Il renferme 2 à 4 allèles par locus pour 52 allèles dénombrés avec un nombre moyen de 2,55 allèles par locus et 6 allèles rares.

- le groupe II possède 9 accessions et les paramètres de diversité les plus faibles. Il a un taux de polymorphisme de 65 %, 3 allèles rares pour un total de 40 allèles détectés et une richesse allélique de 2 allèles en moyenne par locus. L'hétérozygotie observée est de 0,07 et celle attendue est de 0,24 avec une différenciation génétique intra-population de 0,74.

- le groupe III a un taux de polymorphisme de 90 % et possède le plus d'accessions (34). Il a le plus grand nombre d'allèles dénombrés, 54 au total avec 6 allèles rares et une richesse allélique le plus enlevée de 2,7 allèles en moyenne par locus.

Tableau 20 : Paramètres de diversité et de différenciation des différents groupes génétiques de sorghos grains du Burkina Faso

Facteur	N	P (0,95)	A <sup>t</sup>	A <sup>r</sup>	A	Hs	He	Ho	F <sub>IS</sub>	F <sub>IT</sub>	F <sub>ST</sub>
Groupe génétique	61	-	65	15	-	0,35	0,50	0,07	0,81	<b>0,88</b>	<b>0,36**</b>
I	18	1,0	52	6	2,55	0,39	0,4	0,08	0,81		
II	9	0,65	40	3	2,00	0,23	0,24	0,07	0,74		
III	34	0,9	54	6	2,70	0,37	0,38	0,07	0,82		

Les tests de la variance standardisée (Fst) réalisés pour les groupes pris deux à deux (Tableau 21), à l'aide des P-values obtenues après 7600 permutations ont montré des différences hautement significatives dans les fréquences de marqueurs entre les différents groupes.

Tableau 21 : Distance génétique entre paire de groupes génétiques

	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Groupe I	0	0,33**	0,34**
Groupe II		0	0,46**
Groupe III			0

### III. DISCUSSION

Les 20 marqueurs microsatellites utilisés pour évaluer le polymorphisme moléculaire des 64 accessions de sorgho du Burkina Faso sont tous polymorphes et ont permis de détecter 65 allèles avec un nombre d'allèles variant de 2 à 6 par locus. Ces résultats sont inférieurs à ceux de Barro-Kondombo (2010) et de Nebié (2014), mais supérieurs à ceux de Zongo (1991) et Sawadogo (2015) qui ont également travaillé sur les accessions de sorgho du Burkina Faso. En effet, la mesure de ces deux paramètres est particulièrement importante pour les stratégies de conservation. Ils étaient souvent utilisés dans la gestion des collectes et des banques de semences (Asins *et al.*, 1987). Ces faibles valeurs obtenues par rapport à celles de Barro-Kondombo (2010) et Nebié (2014) seraient dues à l'utilisation, par ceux-ci, du séquenceur et gel d'acrylamide qui permettent une meilleure appréciation du nombre d'allèles. Cependant avec Sawadogo (2015) le dénombrement des allèles a été fait de la même manière que la présente étude.

La valeur du taux de polymorphisme calculée (100 %) est supérieure à celle obtenue par Zongo (1991), sur la même collection avec des marqueurs enzymatiques (27,8 %) et Barro-Kondombo (2010) sur les accessions de sorghos grains récemment collectées et évaluées au Burkina Faso (79,3 %). Elle est aussi supérieure à celle des études sur des récentes collections réalisées par Missihoun *et al.* (2012), sur les sorghos grains du Bénin (87,5 %), par Wang *et al.* (2009), sur un échantillon de 96 accessions de sorgho grains ( $P = 61$  %) et par Smith *et al.* (2000) sur un échantillon de 50 sorghos grains élites ( $P = 65$  %). Elle est également supérieure à celle obtenue par Sawadogo (2015) sur les sorghos à grains sucrés du Burkina Faso ( $P = 87$  %), mais par contre similaire à celle obtenue par Nebié (2014) chez les sorghos à tige sucrée du Burkina Faso ( $P = 100$  %). Le taux de polymorphisme est fonction du seuil de polymorphisme retenu, de la technique de marquage utilisée et du taux de mutations dans la région considérée (Pernès *et al.*, 1984). Ce fort polymorphisme pourrait expliquer les facultés d'adaptation des populations des sorghos à des milieux hétérogènes, dans le temps et dans l'espace et cela serait entretenu par des transferts de gènes récurrents entre populations. Cela pourrait également expliquer l'objectif pour lequel la présente collection a été réalisée, celui de protéger les ressources génétiques de sorgho du Burkina Faso contre l'érosion génétique (Zongo, 1991).

La valeur de l'hétérozygotie attendue par locus est de 0.49 et celle de la richesse allélique moyenne est de 3,25 allèles par locus, traduisant une importante diversité génétique des accessions de sorgho du Burkina Faso. Celles-ci sont supérieures à celles de Barro-Kondombo (2010) sur les récentes accessions du Burkina Faso avec des valeurs d'hétérozygotie attendue de 0,37 et de richesse allélique de 2,3. La richesse allélique est un critère utile dans la pratique de la conservation puisque la maximisation assistée par marqueurs de la richesse allélique se révèle efficace dans la conservation d'un maximum d'allèles aussi bien neutres que non neutres (Bataillon *et al.*, 1996). La forte diversité génétique des accessions de sorgho du Burkina serait le résultat des pratiques de gestion paysanne des semences –sélection, échange, introduction des variétés–, des modes de multiplication des semences et d'une allogamie relativement élevée entre 3 et 31 % (Ollitrault *et al.*, 1987). Ainsi la conservation de cette collection aurait contribué à maintenir la diversité génétique.

La valeur de l'hétérozygotie attendue par locus est inférieure à celle obtenue par Nebié (2014), Yang *et al.* (2011) et Deu *et al.* (2008), avec une diversité de Nei respective de 0,61 ; 0,67 et 0,613. Elle est, cependant, supérieure à celles obtenues par Sawadogo (2015), et Barnaud (2007) avec hétérozygotie attendue ( $H_e$ ) respective de 0,47 ; et 0,32.

Le taux moyen d'hétérozygotie observée par locus est relativement faible (0,07) et le taux de différenciation génétique intra-population est très élevée ( $\geq 0.93$ ), sauf pour les locus Xtxp10 et gpsb123. Ce qui traduit un déficit d'hétérozygotes et pourrait s'expliquer par le régime de reproduction de sorgho qui est préférentiellement autogame. L'hétérozygotie observée bien que faible, est cependant largement supérieure à celle obtenue par Folkerstman *et al.* (2005), Sawadogo (2015) respectivement 0,06 et 0,03. L'indice de fixation ( $F_{IS}$ ) est supérieur à celui obtenu par Barnaud en 2007 (0,68), mais similaire à celui de Sawadogo en 2015 (0,93).

La structuration de la diversité génétique des accessions de sorgho du Burkina Faso en fonction des zones agro-climatiques permet d'observer un indice de différenciation intergroupe (0,36) très élevé entre les zones climatiques spécifiant une différenciation très importante des fréquences alléliques entre les zones. Par contre les taux d'hétérozygotie observée sont faibles à l'intérieur de chaque zone indiquant un déficit d'hétérozygotes. La zone sub-sahélienne, avec 58 allèles détectés, 6 allèles rares et 6 allèles privés présente l'indice de différenciation génétique intragroupe le plus élevé, le taux de polymorphisme le plus fort. Cela corrobore les résultats de

Barro-Kondombo (2010) qui a trouvé que la plus forte diversité génétique est observée dans la zone sub-sahélienne, la moins arrosée (500-700 mm).

L'indice de différenciation inter-région (0,481) est très élevé entre les régions spécifiant une importante différenciation des fréquences alléliques entre les régions géographiques. La région du Nord-Ouest montre un plus grand polymorphisme. En effet, cette région appartient à la zone agro-climatique sub-sahélienne qui a montré un taux de polymorphisme élevé. L'évaluation du polymorphisme génétique relative aux coefficients de photopériodisme, révèle une différenciation intergroupe très faible entre les groupes. Cependant, la différenciation intragroupe est élevée avec des taux de polymorphisme élevée pour l'ensemble des groupes. L'indice de différenciation génétique inter-race botanique est très faible. La race *guinea*, présente un taux de polymorphisme de 100 % et possède 19 allèles privés et 7 allèles rares.

La structuration de la diversité génétique entre les paires de zones agro-climatiques par les indices de différenciation intergroupe donne des valeurs élevées entre la zone sahéenne et la zone nord-soudanienne ( $F_{ST} = 0,63$ ), entre la zone sahéenne et la sud-soudanienne ( $F_{ST} = 0,55$ ) et entre la nord-soudanienne et la sud-soudanienne ( $F_{ST} = 0,54$ ). Ces indices de différenciation sont significativement différents et sont, de loin, supérieurs à ceux de Sawadogo (2015), Nebié (2014), Barro-Kondombo (2010) et Zongo (1991) qui ont travaillé sur le sorgho du Burkina Faso. D'après Wright (1969), un  $F_{ST}$  supérieur à 0,25 indique une très importante différenciation. Les indices de différenciation intergroupe entre paires de région donnent aussi des valeurs élevées, la valeur la plus petite ( $F_{ST} = 0,33$ ) est entre les régions Centre-Sud et Nord-Ouest.

Ces importantes différences observées avec les travaux sur les accessions récemment collectées pourraient être imputées d'une part à l'érosion génétique, liée au changement climatique qui aurait entraîné l'abandon de plusieurs variétés par les producteurs et d'autre part au flux de gènes entre régions. En effet, les accessions de cette présente étude ont été collectées de 1984 à 1986, dans le cadre d'un programme de conservation de la diversité des sorghos du Burkina Faso. Leur collecte et conservation aurait permis de préserver des caractéristiques de différenciations propres à chaque zone, qui se seraient mélangées par échanges de variétés entre population dans le temps, car selon Barro-Kondombo (2010) les échanges de semences à l'intérieur de réseaux familiaux parfois géographiquement éloignés, réduisant considérablement les valeurs des indices de différenciations intergroupe entre les paires de zones agro-climatiques

et régions géographiques dans les récentes collections. Ainsi, les prospections sont un des moyens, souvent le seul, de sauvegarder les espèces en voie de disparition. Or, selon Pernes (1984), toutes les espèces, cultivées comme sauvages, sont considérées être dans ce cas.

Bien qu'il se produit des échanges de matériel génétique entre des peuples, il existe toutefois, entre les agriculteurs africains et leurs variétés traditionnelles un lien, lié aux valeurs qualitatives (gout, conservation, consistance) et historiques (rites). Le taux d'adoption des variétés de sorgho améliorées issues de la recherche en Afrique de l'ouest est très faible (Stoop *et al.*, 1981). Ainsi, depuis des millénaires, les agriculteurs maintiennent délibérément la diversité et systématiquement sèment des cultures mélangées dans leurs champs pour obtenir des hybrides naturels ; ils ont pratiqué la sélection et créé leurs propres banques génétiques, de même que des systèmes d'échange très étendus, pour acquérir du nouveau matériel génétique (Chambers *et al.*, 1994). Par ailleurs, les agriculteurs sont suffisamment avertis pour rejeter leurs anciennes variétés et leurs stratégies de production dès qu'on leur en présente de nouvelles (Chambers *et al.*, 1994). Plutôt que d'écarter les variétés locales en adoptant les variétés améliorées, ils incorporent soigneusement le nouveau matériel dans leurs banques génétiques privées.

La différenciation génétique intergroupe pour le coefficient de photopériodisme donne de très faibles valeurs entre paires de groupes avec, cependant, des différences significatives entre celles-ci. La valeur maximale est obtenue entre les accessions faiblement et hautement photopériodiques ( $F_{ST}=0,101$ ). Ce qui ne masque, tout de même pas la différenciation car selon Wright (1969) un  $F_{ST}$  compris entre 0,05 et 0,15 révèle une différenciation modérée.

Les races botaniques *guinea* et *durra* quant à elles affichent un indice de différenciation faible et la race *guinea*, de loin la plus abondante, présente un fort taux de polymorphisme. Cet important polymorphisme observé au sein de la race *guinea* pourrait s'expliquer par leur origine des savanes africaines. Ainsi, selon Harlan et de Wet (1972), sur l'origine des sorghos cultivés, la race *guinea* aurait été constituée indépendamment en Afrique de l'ouest. Cela pourrait également contribuer à expliquer la faible différenciation inter-races, car selon Barro-Kondombo (2010), cette faible différenciation est à mettre en relation avec une origine historique commune du pool de gènes *Guinea*. Par contre, Ollitrault *et al.* (1989) qui ont travaillé sur les sorghos du Burkina, rapportent qu'il existe un polymorphisme intra-variétal relativement important, témoignant d'une situation de non équilibre générée entre autres par une allogamie relativement

élevée et par des pratiques traditionnelles de multiplication réduisant considérablement la taille efficace des populations à chaque cycle.

Les 20 marqueurs ont permis de regrouper l'ensemble des sorghos grains du Burkina Faso en 3 groupes génétiques. Les travaux de diversité de sorgho sucrés du Burkina Faso par Sawadogo (2015), sur 74 accessions de sorgho à grains, Nebié (2014) sur 125 accessions de sorgho à tige sucrée, Barro-Kondombo (2010) sur 124 accessions de sorgho grains et Zongo (1991) sur 50 accessions de sorgho grains ont structuré cette diversité en 3, 6, 3 et 3 groupes respectivement.

## **CONCLUSION PARTIELLE**

Les 20 marqueurs microsatellites utilisés pour évaluer le polymorphisme moléculaire des 64 accessions de sorgho du Burkina Faso sont tous polymorphes et ont permis de révéler l'existence d'un polymorphisme génique supérieur à celui des accessions de sorgho grains récemment collectées au Burkina Faso. Ce qui conforte l'objectif de la collection, celui de la conservation de la diversité contre l'érosion génétique. La structuration de ces accessions a donné trois groupes génétiques distincts sur la base des zones agro-climatiques et des régions géographiques.

Il existe une importante différenciation génétique entre les zones agro-climatiques et les régions géographiques, supérieure à celle de toutes les récentes collections des accessions de sorgho du Burkina Faso.

Cette étude permettra d'une part, d'organiser la conservation de cette collection qui regorge une importante diversité génétique et d'autre part, d'aller vers un programme de sélection en vue d'utiliser ces ressources en vue d'une amélioration génétique des variétés locales.

## CONCLUSION GENERALE

Cette étude, sur la diversité génétique et le photopériodisme a permis de mettre en évidence une importante ressource génétique dans la collection de sorgho grains du Burkina Faso.

Les variables agromorphologiques utilisées pour étudier la collection ont montré l'existence d'une importante diversité génétique expliquée par le facteur accession. La race *Guinea* est de loin la plus importante avec, cependant la présence des races *Caudatum*, *Bicolor* et *Durra*. La plupart des accessions ont des grains blancs, faciles d'égrenage, entourés par des glumes pilleuses et portant des arêtes. La grande majorité des caractères étudiés sont certes influencés par l'environnement, mais la variation qui les affecte est fortement héritable et les progrès génétiques attendus sont importants, prédisant ainsi une forte chance pour une sélection effective de ces caractères dans l'amélioration génétique. Les marqueurs microsatellites utilisés dans l'étude, ont montré un important polymorphisme des locus étudiés entre les accessions de sorgho du Burkina Faso. Cette diversité est organisée par région géographique et par zone agro-climatique avec d'importantes différenciations intergroupes. Les accessions de chaque zone constituent une entité différente, des compartiments qui échangeraient des gènes entre eux, avec des barrières reproductives qui réduiraient significativement le flux de gènes.

L'étude sur la sensibilité à la photopériode a permis d'observer que tous les accessions de sorgho du Burkina Faso sont sensibles à la photopériode. L'initiation florale semble doublement induite par une photopériode stricte autour de 10h et un seuil de variation de température nocturne et diurne autour de 24 et 34°C respectivement. Le photopériodisme varie avec la latitude, ainsi, plus ils sont originaires des zones les plus humides, les accessions ont tendance à réduire davantage leur cycle et leur cycle décroît, à mesure que la pluviométrie de la zone diminue.

Ce travail a permis d'apporter des informations sur la disponibilité en variabilité dans la collection du Burkina Faso et d'élucider la structuration de cette variabilité pour permettre sa gestion efficace et orienter efficacement son utilisation en sélection. Ainsi, pour permettre de capitaliser cette connaissance et améliorer les variétés des sorghos en vulgarisation, il est indispensable d'envisager le rapatriement de toute la collection de sorghos du Burkina Faso, conservée à Montpellier (France), et d'initier un programme de sélection avec les ressources

génétiques ainsi disponibles pour améliorer, au regard du changement climatique les variétés du Burkina Faso.

Afin de permettre aux producteurs de retrouver leurs accessions qu'ils auraient perdues, à cause du changement climatique et d'apporter leurs indicateurs sur le choix des accessions à intégrer dans le programme de sélection au sein de l'équipe génétique du laboratoire Biosciences, il serait important d'envisager la sélection participative décentralisée.

Pour mieux appréhender l'effet de la température sur la réponse photopériodique et permettre leur bonne application dans le choix des dates de semis, l'étudier de l'effet de sommation et d'oscillation de la température sur le photopériodisme est à envisager.

## BIBLIOGRAPHIE

**Alagarswamy, G., Reddy, DM. & Swaminathan, G.,** 1998. Durations of the photoperiod sensitive and -insensitive phases of time to panicle initiation in sorghum. *Field Crops Research*, 55, 1-10.

**Aljane F. & Ferchini A.,** 2007. Caractérisation et évaluation de six cultivars du caprifiugier (*Ficus carica*L.) en Tunisie. *Plant Genetic Resource Newsletter*, 151, 22-26.

**Barnaud A.,** 2007. Savoirs, pratiques et dynamique de la diversité génétique : le sorgho (*Sorghumbicolor*ssp. *bicolor*) chez les *Duupa* du Nord Cameroun. *Thèse de doctorat à l'université Montpellier II (France)*. 230p.

**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. *Theoretical and Applied Genetics*, 114 : 237-248.

**Barro-Kondombo C. P.,** 2010. Diversité agromorphologique et génétique de variétés locales de sorgho (*Sorghumbicolor* [L.] Moench) au Burkina Faso. Eléments pour la valorisation des ressources génétiques locales. *Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou*, 112 p

**Barro-Kondombo C.P., Broke K.V., Chantereau J., Sagnard F. & Zongo J.D.,** 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest. *Cahiers d'agriculture* 17 (2) : 107-113.

**Bataillon T.M., David J.L. & Schoen D.J.,** 1996. Neutral genetic markers and conservation genetic: *simulated germoplasm collections*. *Genetics* 144, 409-417.

**Belliard J.,** 1982, analyse génétique et physiologique du système de contrôle photopériodique de la floraison chez le mil africain, *Université de paris-Sud, Orsay*. pp. 120.

**Bellon M.R., Pham J.L. & Jackson M.T.,** 1997. Genetic conservation: a role for rice farmers. In : Maxtead N, Ford-Loyd BV and Hawkes GJ (eds.) *Plant conservation: The in situ approach*. London: Chapman and Hall 263-289.

**Belkhir K., Borsa P., Chikhi L., Raufaste N. & Bonhomme F.,** 2002. Genetix 4.04, logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations. Laboratoire Génome, Populations,

Interactions, CNRS UMR 5000, Université de Montpellier II, Montpellier, France.  
[http://www.univ-montp2.fr/\\*genetix/genetix/genetix.htm](http://www.univ-montp2.fr/*genetix/genetix/genetix.htm).

**Béninga M.B., Sangaré A., Nguetta A.S.P., Zoro Bi I.A. & Coulibaly Y.M., 2011.** Estimation des paramètres génétiques de quelques descripteurs agromorphologiques chez le mil [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] *Journal Applied Biosciences* 43 :2891-2898

**Bezançon G., 2003.** Evolution de la diversité des mils et sorghos cultivés au Niger entre 1976 et 2003 : Influence des facteurs naturels et anthropiques. *Diversité et Génomes des Plantes Cultivées*, 5p.

**Bretaudeau A., Traore B., Ousmane N., Adama B. & Sako D., 2001.** Variabilité génétique des sorghos de décrue au Mali, *Réunion de travail du 11 au 15 mars 2001 à Nouakchott ; Agence Espagnole de Coopération Internationale ; ISBN 84-7232-898-8 ; 123-129pp.*

**Brocke K.V., Trouche G., Vaxsmann M. & Bazile D., 2002.** Préservation de l'agrobiodiversité du sorgho au Mali et au Burkina Faso -amélioration et la productivité et maintien de la biodiversité. *Atelier sur la diversité et valorisation des ressources génétiques des mils*. Niamey (Niger) 28-29 mai 2002, Cirad, 9p.

**Bunasol : Bureau National des Sols, 1988.** Etude pédologique de la station expérimentale de Gampela. Rapport technique num. 59.

**Cerrighelli R., 1955.** Cultures tropicales : plantes vivrières. Paris : J.-B. Baillière et fils ; Vesoul : impr. de M. Bon, 1955.

**Chambers R., Pacey A. & Thrupp L.A., 1994.** Les paysans d'abord : les innovations des agriculteurs et la recherche agronomique. *CTA, Karthala, ISBN : 2-86537-464-5, 346p.*

**Chantereau J., Trouche G., Luce C., Deu M. & Hamon P., 1997 -** Le sorgho. In: *L'amélioration des plantes tropicales*. A. Charrier, M. Jacquot, S. Hamon, D. Nicolas. Edition Cirad, Collection Repères, p. 565-590.

**Chantereau 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 Ouagadougou, Burkina Faso, SAFGRAD, 309-314.

**Chantereau J. & Nicou R.**, 1991. *Le sorgho*. ACCT., ISBN 92-9028-181-2, 159p.

**Clerget B., Haussmann B., Boureima S.S. and Weltzien E.**, 2007. Surprising flowering response to photoperiod: Preliminary characterization of West and Central African pearl millet germplasm. *ejournal.icrisat.org*, Vol 5, Issue 1.

**Clerget B., Dingkuhn M., Chantereau J., Hemberger J., Louarn G. & Vaksman M.**, 2004. Does panicle initiation in tropical sorghum depend on day-to-day change in photoperiod? *Field Crops Research* 88 (2004) 11–27.

**Cockram J., Jones H., Leigh F.J., O'Sullivan D., Powell W., Laurie D.A. & Greenland A.J.**, 2007. Control of flowering time in temperate cereals: genes, domestication, and sustainable productivity. *J. Exp. Bot.* 58:1231-1244.

**De Wet J.M.J.**, 1978. Systematics and evolution of *Sorghum* sect. *Sorghum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 65 (4) : 477-484.

**De Wet J.M.J. & Huckabay J.P.**, 1967. The origin of *Sorghum bicolor*. II. Distribution and Domestication. *Evolution*, 21, 4 : 787-802.

**Deu M., Sagnard F., Chantereau J., Calatayud C., Herault D., Mariac C., Pham J-L., Vigouroux Y., Kapran I., Traore P. S., Mamadou A., Gerard B., Ndjeunga J. & Bezancon G.**, 2008. Niger-wide assessment of in situ sorghum genetic diversity with microsatellite markers. *Theoretical Applied Genetics* 116:903–913.

**Dje Y., Ater M., Lefebvre C. & Vekemans X.**, 1998. Patterns of morphological and allozyme variation in sorghum landraces of northwestern Morocco. *Genetic Resources and Crop Evolution* 45:541-548.

**Dje Y., Heuertz M., Ater M., Lefebvre C. & Vekmans X.**, 2007. Evaluation de la Diversité Morphologique des Variétés de sorgho du Nord-Ouest du Maroc. *Jr. Biotechnologie Agronomie, Sociology, Environnement*, 2007, II (1), pp39-46.

**Dogget H.**, 1988. *Sorghum* (2<sup>nd</sup> éd.). Londres, Royaume-Uni, Longman, 512p.

**Drabo I., Zangre G. R., Sawadogo M. & Ouedraogo M.**, 2013. Genetic Variability and Estimates of Genetic Parameters in Burkina Faso's Pearl Millet Landraces. *International Journal of Agriculture and Forestry* 3(7): 367-373.

**Dufumier M.**, 2004. *Agricultures et paysanneries des Tiers mondes*. Editions Kharthala, ISBN : 2-84586-548-1, 598p.

**FAO**, 2015. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation. Rapport 2014*, ISBN 978-92-5-208536-2, FAO, Rome 183p.

**FAO**, 2012. *The state of food insecurity in world*. 65p.

**FAO**, 2010. *La FAO s'inquiète de l'érosion de la diversité génétique des plantes*. « [m.actu-environnement.com/actualites/diversite-vegetale-semences-banques-genes-fao-11281.html](http://m.actu-environnement.com/actualites/diversite-vegetale-semences-banques-genes-fao-11281.html) »

**FAO**, 2009. *Traite international sur les ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*. TC/D/I0510F/1/01.09/1200. 00153 Rome, Italie. 56p.

**Franquin P.**, 1971. *Photopériodisme et cycle de végétation: Agroclimatology in the semiarid areas south of the sahara*, Proceedings of the Regional Technical Conference, *Dakar*, 8-20 February 1971

**Fiedel G., Marti A. & Thiebaut S.**, 1996. *Caractérisation et valorisation du sorgho*. Montpellier, CIRAD-CA, 404p.

**Folkertsma R., Rattunde HFW. Chandra S., Raju GS. & Hash TC.**, 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 DOI 10.1007/s 00122-005-1949-0.

**Foulley J.-L. & Ollivier L.**, 2006. *8th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod.*, communication n°33-09.

**Gaouna B. O.**, 2012. *Contribution à une meilleure connaissance des riz adventices de la zone rizicole interfluve des régions de la Tandjilé et du Mayo-Kebbi-Est au Tchad*. Thèse unique, Université de Ouagadougou, 460p.

**Garner, W.W. & Allard, H.A.**, 1920. *Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants*. *Journal of Agriculture Research* 18, 553-606.

**Goudet J.**, 2001. *FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3)*. <http://www.unil.ch/popgen/software/fstat.htm>

**Guinko S.**, 1984. Végétation de la Haute-Volta. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III (France) 394 P.

**Hanak-Freud h.**, 2000. Au Burkina Faso, les céréales traditionnelles peuvent devenir des cultures de rente. *Agriculture et développement* n° 23, p 18-30.

**Harlan J.R., & de Wet J.M.J.**, 1972. A simplified classification of cultivated Sorghum. *Crop science* 12(2) : 172-176.

**Harlan J.R. & De Wet J.M.J.**, 1971. Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20 (4) : 509-517.

**Hedrick P.W.**, 2005. Genetics of populations, 3rd edition. Jones and Bartlett, Sudbury, MA, pp. 725.

**Heller, R.**, 1982. Mise à fleur et photopériodisme. In : Physiologie végétale. 2. Développement. *Masson, Paris*, pp. 178-194.

**House L.R.**, 1987. *Manuel pour la sélection du sorgho*. (2eme éd), Patancheru, ICRISAT, Inde, 229p.

**Johnson, C. H., Knight, M., Trewavas, A. & Kondo, T.**, 1998. A clockwork green: circadian programs in photosynthetic organisms. In : P. J. Lumsden and A. J. Millar (Eds.), *Biological rhythms and photoperiodism in plants*. BIOS Scientific Publisher, Oxford, pp.151-165.

**Klebs, G.**, 1913. Über das Verhältnis der Aussenwelt zur Entwicklung der Pflanze. *Sber.Akad. Wiss. Heidelberg*. 5, 1-47.

**Kouressy M., Traore S., Vaksmann M., Grum M., Maikano I., Soumare M., Traore P.S., Bazile D., Dingkuhn M., & Sidibe A.**, 2008. Adaptation des sorghos du Mali à la variabilité climatique, *Cahiers Agricultures vol. 17, n° 2, mars-avril 2008*.

**Lafarge, T.**, 1998. Analyse de la mise en place de la surface foliaire du sorgho-grain (*Sorghum bicolor* L. Moench) au champ. Thèse doctorale. Paris-Sud, Orsay, France, 69 pp.

**Lacy S.M., Cleveland D.A. & Soleri D.**, 2006. Farmer choice of sorghum varieties in Southern Mali. *Hum Ecol* 2006; 34: 331-53.

**Lallemand J., 2004.** *Evaluation de la diversité génétique d'espèces cultivées.* HDR, Université de Poitiers, 450 p.

**Lumdsen, P.J., 1998.** Photoperiodic induction in short-day plants. In : P.J. Lumdsen and A.J. Millar (Eds.), *Biological rhythms and photoperiodism in plants.* BIOS Scientific Publisher, Oxford, pp. 151-165.

**Macauley H. & Ramadjita T., 2015.** Les cultures céréalières: riz, maïs, millet, sorgho et Blé. Nourrir l'Afrique, du 21-23 Octobre 2015.

**Mace ES, Hunt CH& Jordan DR. (2013).** Supermodels: sorghum and maize provide mutual insight into the genetics of flowering time. *Theor Appl Genet.*

**MARHASA/DGESS** (Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire/ Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles) 2015. Résultats définitifs de la campagne agricole 2014/2015 et perspective de la situation alimentaire et nutritionnelle.

**Missihoun A.A., Agbangla C., Adoukonou-Sagbadja H., Ahanhanzo C. & Vodouhè R., 2012.** Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(3): 1003-1018.

**Moench C., 1794.** *Method us planta shortibanici et agri., 207p.*

**Morden CW & Golden SS., 1989.** PSBA genes indicate common ancestry of prochlorophytes and chloroplasts. Department of Biology, Texas A & M University College Station 77843.

**Morgane M. & Oliviera AM., 1993.** PCR-amplified microsatellites as markers in plant genetics. *Plant J;* 3 : 175-82.

**Murdock, G.P., 1959.** *Africa, its people and their culture history.* New York.

**Nebié B., 2014.** Diversité génétique des sorghos à tige sucrée [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] du Burkina Faso. Thèse Unique, Université de Ouagadougou (Burkina Faso) 118p.

**Nei M., 1978.** Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89 : 583-590.

**Ollitrault, P., Arnaud, P., & Chantereau, J.** 1989. Polymorphisme enzymatique des sorghos. II Organisation génétique et évolutive des sorghos cultivés. *Agron. Trop.* 44: 211–222.

**Ollitrault O., Noyer J.L., Chantereau J. & Glaszmann J.C.,** 1997. Structure génétique et dynamique des variétés traditionnelles de sorgho au Burkina Faso. In: Begic A (ed) Gestion des ressources génétiques de plantes en Afrique des savanes. IER-BRG Solagral, Bamako, Mali, pp 231–240.

**Outtara M., Vaksmann M., Reyniers F-N., Niangado O. & Kouressy M.,** 1997. Diversité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agro-écosystèmes. Mises en valeur d'un savoir. Actes du colloque : gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes, Bamako-Mali, 24-28-Fev. 1997.

**Pernès J.,** 1984 : Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome 2 Manuel, Agence de coopération culturelle et technique, ISBN 92-9028-043-3, 346p.

**Perrier X. & Jacquemoud-Collet J. P.,** 2006. DARwin software <http://darwin.cirad.fr/darwin>

**Pradhakar E.M. & Reddy D.C.S.,** 2007. Characterization and Evaluation of Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Germplasm from Karnataka, India. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 20(4): (840-842)

**Quinby J.R.,** 1967. The maturity genes of sorghum. *Advances in Agronomy Vol 19:* 267–305.

**Rooney W.L. & Aydin S.** (1999) Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) moench. *Crop Sci* 39:397-400.

**Sagnard F., Barnaud A., Deu M., Barro C., Luce C., Billot C., Rami J-F., Bouchet S., Dembélé D., Pomiès V., Calatayud C., Rivallan R., Joly H., Brocke K.V., Touré A., Chantereau J., Bezançon G. & Vaksmann M.,** 2008. Analyse multiéchelle de la diversité génétique des sorghos : compréhension des processus évolutifs pour la conservation in situ. *Cahiers Agricultures* vol. 17, n° 2, mars-avril 2008.

**Sachs, R.M., & Hackett, W.P.,** 1983. Source-sink relationships and flowering. In Beltsville Symposia in Agricultural Research. 6. Strategies of Plant Reproduction, W.J. Meudt, ed (Totowa, NJ: Allanheld, Osmun Publishing), pp. 263-272.

**Sako, M., Kahn, S.M., Paerels, F., & Liedahl, D.A.** 2000, ApJ, in press astro-ph/0006146.

**Santoni S., Patricia F-R., Prado E. & Prat D.,** 2000. Marqueurs moléculaires pour l'analyse des ressources génétiques et amélioration des plantes. Cahiers Agricultures Vol. 9, N° 4 ; 311-27.

**Sawadogo,** 2015. Diversité génétique des sorghos à grains sucrés [Sorghumbicolor (L.) Moench] du Burkina Faso. Thèse Unique, Université de Ouagadougou (Burkina Faso) 182p.

**Scheuring J.F.,** 1980. From to to Timbuctu: Cereal quality work by ICRISAT in West Africa. Report submitted at 5<sup>th</sup> Joint Meeting of the UNDP-CIMMYT-IRISAT policy Advisory Committee. ICRISAT Center: Patancheru, India. Oct. 14-18

**Smith J.S.C., Kresovich S., Hopkins M.S., Mitchell S.E., Dean R.E., Woodman W.L., Lee M. & Porter K.,** 2000. Genetic diversity among elite sorghum inbred lines assessed with simple sequence repeats. *Crop Science* 40:226-232.

**Snowden J.D.,** 1936. The cultivated races of sorghum. Adlard, London, 274 p.

**Soumaré M., Bazile D., Vaksmann M., Kouressy M., Diallo K. & Diakité CH.,** 2008. Caractérisation de l'agrobiodiversité de l'agrosystème aux gènes. *Cahiers Agricultures vol. 17, n° 2, mars-avril 2008.*

**Stoop W .A., Pattanayak C.M ., Matlon P.J. & 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 2-7 November 1981, ICRISAT, Patancheru, Inde. 324, A.P. p. 519-526.

**Thiombiano ML.,** 1983. Contribution a l'évaluation de quelques écotypes de sorgho voltaïques. Mémoire de fin detudes IDR, universite de Ouagadougou.

**Thomas, B.,** 1998. Photoperiodism: an overview. In: P. J. Lumdsen and A. J. Millar (Eds.), Biological rhythms and photoperiodism in plants. BIOS Scientific Publisher, Oxford, pp. 151-165.

**Thomas B., Vince-Prue D.** (1996) Photoperiodism in Plants Elsevier Science.

**Toure, A., Traore, K., Bengaly, A., Scheuring, J.F., Rosenow, D.T. & Rooney, L.W.,** 1998. Le potentiel des cultivars locaux dans l'amélioration du sorgho au Mali, *African Crop Science Journal, Vol. 6, n ° 1, 1998, pp 1-7.*

**Tournois, J.**, 1912. Influence de la lumière sur la floraison du houblon japonais et du chanvre déterminée par des semis hâtifs. *C.R. Hebd. Scéanc. Académie des Sciences de Paris*. 155, 297-300.

**Traore S.B., Reyniers F.N., Vaksman M., Kone B., Sidibe A., Yorote A., Yattara K. & Kouressey M.**, 2000. Adaptation à la sécheresse desécotypes locaux de sorghos du Mali. *Science et changements planétaires/ Sécheresse*. Vol. 11, n° 4, 227-237.

**Trouche G., Da S., Pale G., Sohero A., Ouedraogo O. & Dengosso G.**, 2001. Evaluation participative de nouvelles variétés de sorgho au Burkina. In : selection participative, H. Hocdé, J. Lançon, G., Trouche. Montpellier, 5-6 septembre 2001, Cirad-INERA, 36-55.

**Trouche G, Chantereau J & Zongo JD**, 1998. Variétés traditionnelles et variétés améliorées de sorgho dans les régions sahéliennes. In : Bacci L, Reyniers FN, eds. Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride. Actes du séminaire international, 27-30 avril 1998, Florence, Italie. Florence (Italie) ; *Montpellier (France) : Ed. CeSIA, Cirad éditions, 1998*.

**Vaksman M, Traoré SB & Niangado O.**, 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *AgricDevelop* ; 9 : 13-8.

**Vaksman M., Kouressey M., Chantereau J., Bazile D., Sangard F., Toure A., Sanogo O., Diawara G. & Dante A.**, 2008. Utilisation de la diversité génétique des sorghos locaux du Mali, *Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures*, Vol. 17, Num. 2, 140-5.

**Wallace, H.A., & Brown W.L.**, 1956. Corn and its early fathers. Michigan State Univ. Press, East Lansing, MI.

**Wang M.I., Zhu C., Barkley N.A., Chen Z., Erpelding J.E., Seth C. Murray S.C., Tuinstra M.R., Tesso T., Gary A., Pederson G.A. & Yu J.**, 2009. Genetic diversity and 126 population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection. *Theor*

**Weir B.S. & Cockerham C.C.**, 1984. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 38 : 1358-1370.

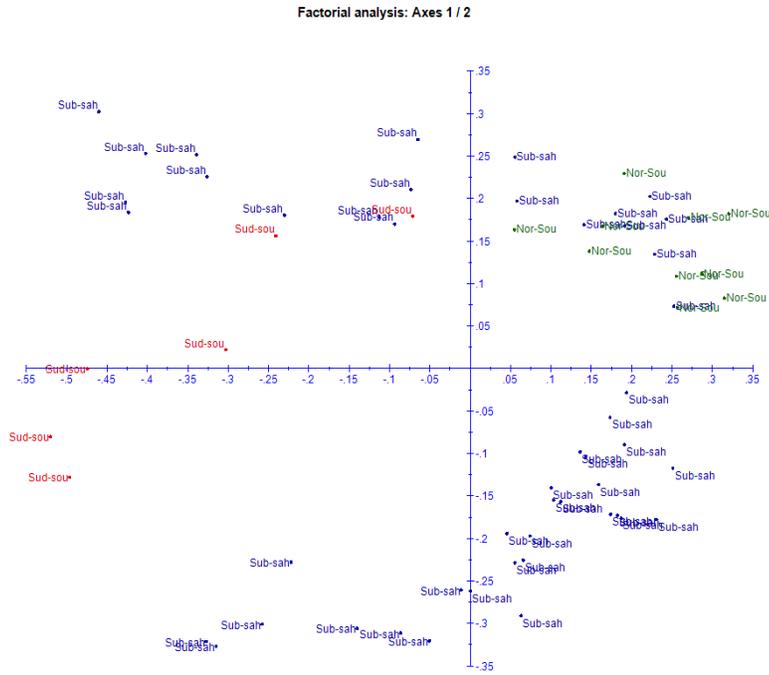
**Wright S.**, 1969. Evolution and the genetics of populations. The theory of gene frequencies, volume 2, The University of Chicago Press, Chicago, London.

**Yang X., Xu Y., Shah T., Li H., Han Z., Jiansheng Li J. & Yan J.,** 2011. Comparison of SSRs and SNPs in assessment of genetic relatedness in maize. *Theoretical Applied Genetics* **120**:13–23, DOI 10.1007/s00122-009-1155-6

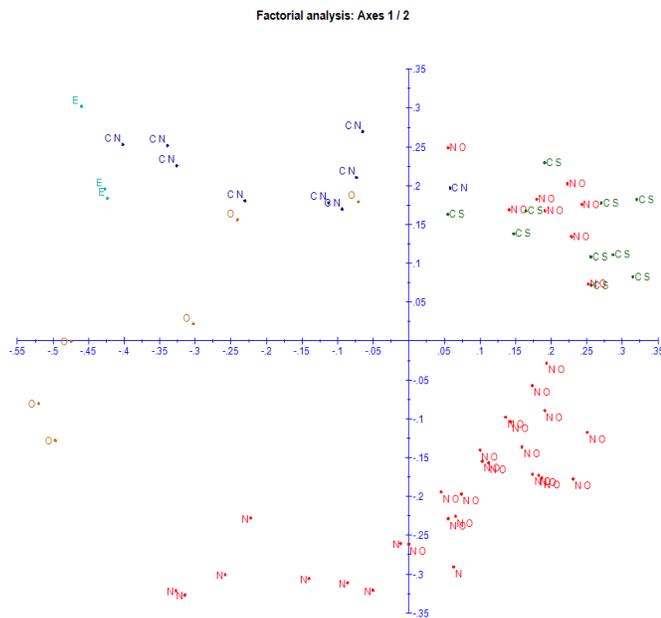
**Zongo J. D.,** 1991. Ressources génétiques des sorghos (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) du Burkina Faso: Evaluation agromorphologique et génétique. *Thèse de docteur ès science, sciences naturelles, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire*, 219p.

# ANNEXE

## Annexe 1. Représentation des groupes du Burkina Faso dans le plan 1x2 de l'AFTD (45,58% d'inertie) en fonction de la zone climatique.

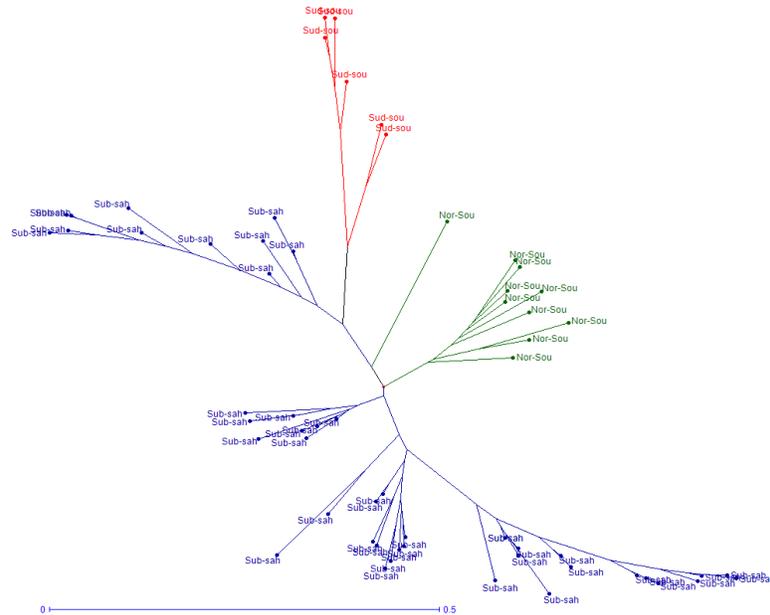


## Annexe 2. Représentation des groupes du Burkina Faso dans le plan 1x2 de l'AFTD (45,58% d'inertie) en fonction des régions.



### Annexe 3. Représentation des groupes du Burkina Faso dans le plan 1x2 de l'AFTD (45,58% d'inertie) en fonction des régions.

*Sub-sahélien (bleu), nord-soudanien (vert), sud-soudanien (rouge)*



### Annexe 4. Publications

**GAPILI Naoura**, Mahamadou SAWADOGO, NANEMA K. Romaric, NEBIE Baloua, SAWADOGO Nerbéwendé, and Jean-Didier ZONGO, 2015. Etude du photopériodisme des écotypes de sorgho du Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 13 No. 4 Dec. 2015, pp. 901-909.

**Gapili NAOURA**, Baloua NEBIE, Romaric Kiswendsida NANEMA, Pauline BATIONO KANDO, Ernest Renan TRAORE, Mahamadou SAWADOGO et Jean-Didier ZONGO, 2014. Caractérisation de quelques écotypes performants de sorghos Burkinabés. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(5): 2109-2118, October 2014.