

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

MASTER EN AMENAGEMENT ET GESTION DURABLE DES ECOSYSTEMES FORESTIERS ET AGROFORESTIERS

SUJET :

Caractérisation agro-morphologique de variétés/accessions de fonio
[*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf] du Sénégal, Mali, Burkina Faso et
Niger dans le bassin arachidier et la haute Casamance

Mémoire présenté

Par M. Amadou DIEYE

Sous la supervision de Dr Daouda NGOM, Professeur Titulaire (UCAD)

Encadreurs : Dr Ismaïla COLY, Maître Assistant (UASZ)

Dr Mame Codou GUEYE, Chargé de Recherches (ISRA /CERAAS, Thiès)

Soutenu publiquement le 16 juillet 2022 devant le jury composé de :

Président :	M. Ngor NDOUR	Maître de conférences	UFR-ST / UASZ
Membres :	M. Djibril SARR	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	M. Saboury NDIAYE	Assistant	UFR-ST / UASZ
	Mme. Mame Codou GUEYE	Chargé de Recherches	ISRA/CERAAS/Thiès
	M. Ismaïla COLY	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	M. Daouda NGOM	Professeur Titulaire	BV/UCAD

Année universitaire 2020-2021

DEDICACES

Je rends grâce à ALLAH le Miséricordieux, le Clément pour m'avoir donné la force et la santé nécessaire pour mener ce travail à son terme.

Je dédie ce travail:

A ma mère Ngoné THIOUNE et à mon père Ndiawar DIEYE, qui m'ont toujours encouragé et soutenu sans relâche, veillé sur moi, m'ont élevé et mis sur le droit chemin depuis ma naissance.

A nos très adorables frères, sœurs, cousins et cousines et à toutes les personnes qui nous sont chères.

REMERCIEMENTS

Je remercie toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce document. Il s'agit notamment:

- de mon encadrant Dr **Ismâïla COLY** et Coordonnateur du Master Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers (AGDEFA), qui n'a ménagé aucun effort depuis nos premiers pas à l'Université pour que nous ayons la meilleure des formations. Il a également beaucoup contribué à l'obtention de mon stage au sein de l'institution ISRA/CERAAS et à l'amélioration de la qualité de ce document.
- de mon Co encadrant Dr **Mame Codou Gueye CISSE** chargée de recherche au CERAAS (Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration et l'Adaptation à la Sécheresse). Je ne saurais trouver les mots pour lui témoigner toute ma gratitude et ma reconnaissance. Elle m'a accepté, guidé et mis dans les meilleures conditions de travail durant tout mon stage. Grâce à elle, j'ai pu assister à des formations qui m'ont permis de me ressourcer et d'avoir le bagage nécessaire pour mieux effectuer les tâches qui me sont assignées. A travers sa rigueur scientifique, sa sympathie, sa grande disponibilité et ses conseils, j'ai découvert et beaucoup aimé le monde de la recherche.
- du directeur de l'UFR (Unité de Formation et de Recherche) sciences et technologies de l'Université Assane Seck de Ziguinchor, Dr **Edouard DIOUF** et du Directeur Général de l'ISRA Dr **Momar Talla SECK** de m'avoir accepté dans leurs institutions respectives.
- du directeur du CERAAS le Dr **Ndjido KANE** pour m'avoir accepté dans son Centre (CERAAS) et faciliter la réalisation de ce travail.
- de tous les Enseignants-chercheurs du département d'Agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ) à savoir Dr **Djibril SARR**, chef de département, Pr **Mohamed M. CHARAHABIL**, Pr **Ngor NDOUR**, Pr **Siré Diédhiou**, Dr **Aly DIALLO**, Dr **Antoine SAMBOU**, Dr **Joseph Saturnin DIEME**, Dr **Boubacar CAMARA**, Dr **Saboury NDIAYE**, et Dr **Abdoulaye SOUMARE** pour la formation qu'ils nous ont prodiguée.
- l'ensemble du personnel scientifique et administratif du CERAAS qui m'ont accueilli et intégré en leur sein ;
- l'ensemble des doctorants du département d'Agroforesterie et du CERAAS pour leurs encadrements et conseils, sans oublier mes camarades de promotion (9ième promo) et collègues de stage, qui m'ont apporté un soutien non négligeable à travers nos échanges.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
RESUME	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCTION	1
I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1 Systématique et description morphologique du fonio.....	3
I.2. Ecologie du fonio	4
I.3 Importance du fonio	5
I.3.1 Importance nutritionnelle et gustative.....	5
I.3.2 Importance thérapeutique.....	5
I.3.3 Importance socio culturelle	6
I.3.4 Importance économique	6
I.3.5 Importance environnementale.....	7
I.4 Principaux pays producteurs de fonio en Afrique.....	7
I.5 Diversité génétique et critères distinctifs des variétés de fonio en Afrique	8
I.6 Culture du fonio au Sénégal	9
I.6.1 Production nationale du fonio	9
I.6.2 Principales zones de production du fonio.....	10
I.6.3 Principales variétés cultivées	10
I.6.4 Avancées de la recherche sur le fonio.....	11
I.7 Problèmes liés à la culture du fonio	12
I.7.1 Fonio en tant que « neglected and underutilised species, (NUS) ».....	12
I.7.2 Absence de descripteurs pour le fonio.....	13
I.7.3 Difficultés liées à la récolte et à la transformation	14
I.7.4 Contraintes spécifiques au Sénégal	14
II. MATERIEL ET METHODES	15
II.1 Sites de l'étude.....	15
II.3 Dispositif expérimental.....	18
II.4 Conduite de l'essai.....	18
II.5 Observations et mesures des caractères étudiés.....	20
II.6 Traitement des données	23
III. RESULTATS	25

III.1 Variabilité des caractères qualitatifs.....	25
III.2 Caractères quantitatifs du fonio selon le site.....	25
III.3 Variabilités inter variétés/acceptions pour les deux sites confondus.....	26
III.3.1 Date 50% de maturité (DFM).....	26
III.3.2 Nombre de racèmes par panicule (NRP).....	27
III.3.3 Longueur des feuilles (LoF).....	27
III.3.4 Longueur des feuilles drapeaux (LoFd).....	28
III.3.5 Largeur des feuilles drapeaux (LaFd).....	28
III.3.6 Poids des grains (PGR).....	29
III.4 Variabilité inter variétés/acceptions par site.....	29
III.4.1 Date de 50% de floraison (DFL).....	29
III.4.2 Hauteur des plantes (HP).....	31
III.4.3 Biomasse aérienne (BA).....	32
III.4.4 Longueur des racèmes par panicule (LRP).....	33
III.4.5 Longueur d'exertion de la panicule (EXE).....	34
III.4.6 Largeur des feuilles (LaF).....	35
III.5 Corrélation entre les variables quantitatifs mesurés.....	35
III.5.1 Corrélation entre variables quantitatives par site.....	35
III.5.2 Corrélation des caractères mesurés pour les deux sites confondus.....	36
III.6 Classification ascendante hiérarchique (CAH) des variétés/acceptions.....	37
III.7 Caractères discriminants des classes de variétés/acceptions.....	38
IV. DISCUSSION.....	40
IV.1 Caractéristiques des variétés étudiées.....	40
IV.1.1 Caractères qualitatifs du fonio.....	40
IV.1.2 Caractères quantitatifs.....	40
IV.2 Corrélation entre les caractères quantitatifs étudiés.....	42
IV.3 Classification des variétés/acceptions en fonction des caractères quantitatifs.....	42
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ABEE : West Africa Breeding networks and Extension Empowerment

ACP : Analyse en Composantes Principales

AFD : Analyse Factorielle Discriminante

AGDEFA : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

ANOVA : Analyse de Variance

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

BCEPA : Bureau Central des Etudes et de la Planification Agricole

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CERAAS : Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration et l'Adaptation à la Sécheresse

FAOSTAT : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ; division des statistiques

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

Ha : Hectare

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

K : Mille

MB : Méga Base

NUS : Neglected and Underutilised Species

PAPEM : Points d'Appui de Pré-vulgarisation et d'Expérimentations Multi-locales

UFR : Unité de Formation et de Recherche

USAID : Agence Américaine pour le développement international

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plante (A) et feuille (B) de Fonio.....	3
Figure 2 : Panicule de Fonio (A), Racème (B).....	4
Figure 3 : Epillets groupés par 3 (A), Fonio paddy (B).....	4
Figure 4 : Aire de la culture du fonio en Afrique de l’Ouest	7
Figure 5 : Densité variétale du fonio (Porteres, 1976).....	8
Figure 6 : Evolution de la production nationale du fonio entre 2005 et 2019	9
Figure 7 : Zones de production du fonio au Sénégal suivant les ethnies.....	10
Figure 8 : Production de fonio comparée aux autres céréales en Afrique de l’Ouest	13
Figure 9 : Localisation du PAPEM de Vélingara	15
Figure 10 : Pluviométrie des sites d’études durant l’essai (hivernage 2021)	16
Figure 11 : Localisation de la station de recherche de Nioro du Rip	17
Figure 12 : Dispositif expérimental.....	18
Figure 13 : Ligne de référence.....	19
Figure 14 : Traçage des lignes de semis (A) et délimitation des parcelles (B).....	19
Figure 15 : Battage de la récolte (A et B) et séparation des grains (C) et paille (D)	20
Figure 16 : Vannage des grains après battage (A et B) et produit obtenu après vannage (C)	20
Figure 17 : Fréquence d'observation du mode de regroupement des épillets	25
Figure 18 : Répartition des variétés/accessions en fonction de la date 50% de maturité	26
Figure 19 : Nombre de racèmes par plante en fonction des variétés/accessions	27
Figure 20 : Longueur des feuilles en fonction des variétés/accessions	27
Figure 21 : Longueur des feuilles drapeaux en fonction des variétés/accessions.....	28
Figure 22 : Largeur des feuilles drapeaux en fonction des variétés/accessions.....	28
Figure 23 : Poids des grains en fonction des variétés/accessions:.....	29
Figure 24 : Répartition des variétés/accessions en fonction de la Date 50% de floraison (Vélingara)	30
Figure 25 : Répartition des variétés/accessions en fonction de la Date 50% de floraison (Nioro).....	31
Figure 26 : Hauteur des plantes en fonction des variétés/accessions selon les sites	32
Figure 27 : Biomasse aérienne produite en fonction des variétés/accessions selon les sites.....	33
Figure 28 : Longueur des racèmes en fonction des variétés/accessions suivant les sites.....	34
Figure 29 : Longueur d’exertion en fonction des variétés/accessions suivant les sites.....	34
Figure 30 : Largeur des feuilles en fonction des variétés/accessions selon les sites	35
Figure 31 : Dendrogramme des variétés/accessions pour les deux sites confondus.....	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Caractéristiques des variétés cataloguées par l'ISRA.....	11
Tableau II : Variétés/Accessions et leurs pays d'origine.....	17
Tableau III: Caractères mesurés et les méthodes de mesure	20
Tableau IV : Variabilité des caractères quantitatifs entre sites	26
Tableau V : Matrice de corrélation des caractères mesurés au niveau du site de Vélingara.....	36
Tableau VI : Matrice de corrélation des caractères mesurés au niveau du site de Nioro.....	36
Tableau VII : Matrice de corrélation des caractères mesurés pour les deux sites confondus	37
Tableau VIII : Valeurs moyennes des paramètres étudiés suivant les différentes classes issues de la CAH	38
Tableau IX : Significativité de la variation des paramètres quantitatifs discriminants entre les variétés/accessions.....	39

RESUME

Le fonio (*Digitaria exilis*), grâce à sa capacité d'adaptation très large et son importance du point de vue nutritionnelle, attire l'attention de nombreux chercheurs notamment ceux du Sénégal. C'est ce qui a permis de faire des avancées considérables en termes de recherches sur cette céréale. Toutefois, malgré ces acquis de recherche, il reste beaucoup à faire tel que la mise en place de descripteurs pour le fonio mais aussi la création et l'amélioration variétale. C'est dans ce sens que s'insère notre étude qui vise à caractériser différentes variétés/accessions de fonio (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf) du Sénégal, Mali, Burkina Faso et Niger dans deux zones agro-écologiques du Sénégal (haute Casamance et bassin arachidier) afin d'en relever les plus performantes, mais aussi identifier les caractères qui pourraient servir de descripteur pour l'espèce. Ainsi 19 variétés/accessions ont été caractérisées à l'aide de 14 caractères agromorphologiques dans un dispositif en bloc de Fisher à deux facteurs et trois répétitions. Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) ont montré un effet site sur les variétés/accessions étudiées à travers les caractères hauteur des plantes, longueur des racèmes et longueur d'exertion. Elle a aussi permis d'identifier trois variétés d'origine malienne qui semblent être les plus performantes. La classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis de mettre en évidence cinq classes. La classe C1 (variétés/accessions précoces et très productives), C2 (variétés/accessions précoces, produisant moins de grains), C3 (variétés/accessions intermédiaire avec une production moyenne), C4 et C5 (variétés/accessions tardives avec une biomasse aérienne très élevée). L'analyse factorielle discriminante (AFD), à travers le test de Wilks, a permis de relever 4 caractères discriminants, pour identifier les variétés/accessions étudiées, qui sont : le cycle de floraison et de maturité, la biomasse aérienne et le poids des grains.

Mots clés : *Digitaria exilis*, caractérisation, agro-morphologique, variétés/accessions, fonio, zones agro-écologiques, Sénégal

ABSTRACT

Fonio (*Digitaria exilis*), thanks to its wide adaptability and its importance from a nutritional point of view, has attracted the attention of many researchers, particularly those in Senegal. This has led to considerable progress in research on this cereal. However, despite these research achievements, much remains to be done, such as the establishment of descriptors for fonio, but also the creation and improvement of varieties. It is in this sense that our study aims to characterise different fonio (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf) varieties/accessions from Senegal, Mali, Burkina Faso and Niger in two agro-ecological zones of Senegal (upper Casamance and groundnut basin) in order to identify the best performing ones, but also to identify the characteristics that could be used as descriptors for the species. Thus, 19 varieties/accessions were characterised using 14 agro-morphological traits in a two-factor, three-repetition Fisher block design. The results of the analysis of variance (ANOVA) showed a site effect on the varieties/concessions studied through the characters plant height, root length and exertion length. It also allowed the identification of three varieties of Malian origin that appear to be the best performing. The hierarchical ascending classification (HAC) revealed five classes. Class C1 (early and very productive varieties/trade-ins), C2 (early varieties/trade-ins, producing less grain), C3 (intermediate varieties/trade-ins with average production), C4 and C5 (late varieties/trade-ins with very high above-ground biomass). Discriminant factor analysis (DFA), using the Wilks' test, allowed us to identify four discriminating characteristics, which are: flowering and maturity cycle, above-ground biomass and grain weight, to identify the varieties/accessions studied.

Keywords : *Digitaria exilis*, characterization, agro-morphological, varieties/accessions, fonio, agro-ecological zones, Senegal

INTRODUCTION

L'agriculture est aujourd'hui un pilier important dans l'économie mondiale, notamment en Afrique subsaharienne où elle regroupe 54 % des emplois en 2018 selon la banque mondiale. Elle a connu un essor important, grâce à de nombreux progrès scientifiques qui ont ainsi permis d'augmenter rapidement la productivité. Cependant, l'augmentation de la production et de la productivité agricoles au cours des 30 dernières années dérive de l'expansion des superficies cultivées et de l'augmentation de la production par unité de superficie (intensification). Cette expansion a entraîné une réduction de la diversité des habitats naturels, y compris des forêts tropicales, des prairies et des régions humides (Wooten, 2003) au profit des cultures particulièrement les céréales comme le riz (*Oryza sativa* L.), le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et le maïs (*Zea mays* L.). Ce qui a porté atteinte à la biodiversité. Par ailleurs, le changement climatique met en péril la capacité de l'agriculture à satisfaire les besoins alimentaires de la population mondiale. En effet d'une part les dérèglements du climat impactent négativement la production agricole (Banque mondiale, 2019), en particulier dans les régions du monde qui souffrent déjà d'une insécurité alimentaire à l'instar de l'Afrique, et d'autre part réduisent les performances agronomiques des variétés cultivées. Ainsi, il devient primordial de proposer un nouveau type d'agriculture respectueuse de l'environnement avec l'utilisation de variétés performantes et bien adaptées aux effets du changement climatique.

Les cultures sauvages apparentées et les cultures orphelines pourraient être ainsi, une solution parmi tant d'autres pour régler le problème de l'agriculture. Ces cultures sont souvent adaptées aux environnements extrêmes et leur utilité pour libérer des terres marginales pour l'agriculture a récemment repris de l'intérêt (Tena, 2019 ; Fernie et Yan, 2019). La domestication de « novo » d'espèces sauvages ou l'amélioration rapide des cultures semi-domestiquées comme le fonio blanc (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf) pourrait en effet soutenir la production agricole et régler en même temps le problème de la malnutrition.

Le fonio, espèce indigène de mil africain, est cultivé dans un large éventail de conditions environnementales. De plus, il est tolérant à la sécheresse et adapté aux sols sablonneux pauvres en nutriments (Adoukonou et al., 2010) et aux aléas climatiques (Cruz et al., 2004). Sa valeur nutritionnelle est comparable à celle du riz, du maïs, du sorgho et du mil (Cruz et al., 2011), mais possède cependant des aspects thérapeutiques plus intéressants. En effet, grâce à sa forte teneur en acides aminés (en particulier la cystéine et la méthionine), et en fibres (Affokpe, 2015), le fonio est très recommandé pour les femmes enceintes, les personnes diabétiques, mais

aussi pour la nutrition infantile (Dambrine, 2020). De plus, c'est une culture exercée majoritairement par les femmes (Diop, 2020), faisant du fonio un outil très efficace pour leur autonomisation.

Ainsi au Sénégal, les recherches sur cette céréale ont permis de mieux connaître les pratiques paysannes et dynamiques de la diversité génétique du fonio, mais aussi de mettre en place un itinéraire technique avec l'apparition de nouvelles variétés performantes ciblées et homologuées.

Malgré ces acquis de recherche et les nombreuses actions des structures d'appui au développement, il reste beaucoup à faire (Lo, 2003 cité par Gueye, 2016), telle l'identification de descripteurs pour l'espèce, la création et l'amélioration variétale. C'est dans ce cadre que le projet ABEE (Renforcement des réseaux et des capacités institutionnelles en amélioration des plantes pour le développement de cultures résilientes au profit des petits producteurs d'Afrique de l'Ouest) met en œuvre une approche coordonnée sous régionale pour accélérer les avancées de la recherche sur le fonio.

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'identification des variétés/accessions performantes et adaptées pour le Sénégal en testant un pool sous régional (Sénégal, Burkina Faso, Mali et Niger) dans différentes zones agro écologiques du pays (la zone de la haute Casamance et le bassin arachidier). De manière spécifique, elle vise à déterminer les performances des variétés/accessions cibles, mais aussi d'identifier les caractères attributs du fonio qui pourraient faire office de descripteur pour l'espèce.

Ce document est structuré en quatre chapitres : (I) la synthèse bibliographique sur le fonio, (II) le matériel et les méthodes utilisés, (III) les résultats obtenus et (IV) la discussion des résultats.

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Systématique et description morphologique du fonio

Le fonio, considéré comme la plus ancienne céréale indigène d'Afrique occidentale (Cruz et al., 2011), est une monocotylédone appartenant à la famille des graminées, de la tribu des panicées et du genre *Digitaria*. Selon Dupuis et al., (2007), deux espèces de fonio sont cultivées en Afrique : *Digitaria exilis* Stapf (fonio blanc) et *Digitaria iburua* Stapf (aussi appelé iburu ou fonio noir).

Le fonio est une petite plante herbacée annuelle de 30 à 80 cm de hauteur (Figure 1A). Le chaume, cylindrique et creux, est très fin (diamètre inférieur à 1 mm) et, à maturité, les tiges sont couchées sur le sol. Le fonio est une céréale qui talle bien avec 2 à 6 talles ou plus pour les variétés tardives (Cruz et al., 2011). Les feuilles sont linéaires, lancéolées, glabres (Figure 1B) de longueur variant entre 3 et 15 cm et de largeur entre 3 à 9 mm (Vodouhè et Dako, 2006).



Figure 1 : Plante (A) et feuille (B) de Fonio

Le fonio présente une inflorescence composée le plus souvent de deux ou trois racèmes ou épis (Figure 2) et les grains de pollen ont une vitalité variant entre 81 et 90% (Adoukonou et al., 2010). Les racèmes portent les épillets groupés par deux (variétés hâtives), trois ou quatre (variétés tardives) sur des pédicelles (Cruz et al., 2011), (Figure 3A). L'épillet comprend une fleur stérile et une fleur fertile qui donne le grain de fonio.

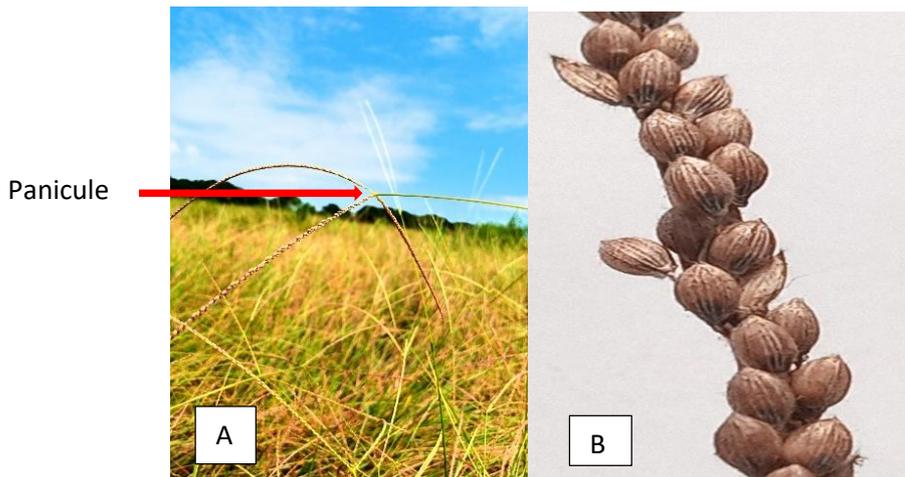


Figure 2: Panicule de Fonio (A), Racème (B)

Le fruit du fonio est un caryopse très petit et habituellement de forme ovoïde (Figure 3B). Un lot de 1000 grains pèse dans l'ordre de 400 à 600 grammes (Fofana et Fall, 2004), et un gramme de grains compte en moyenne entre 1 600 et 2 500 grains paddy (Santens, 1980).



Figure 3 : Epillets groupés par 3 (A), Fonio paddy (B)

Concernant son mode de reproduction, certains auteurs affirment que le fonio est une plante allogame d'où sa très forte diversité (Vodouhè et Dako, 2006). Cependant, une équipe de chercheurs du Bénin et d'Allemagne a indiqué que le fonio se reproduisait principalement par apomixie avec un peu d'autogamie (Adoukonou et al., 2007).

I.2. Ecologie du fonio

Le fonio est une plante peu exigeante qui s'accommode d'une large gamme de sols (légers, sablonneux, limoneux, caillouteux, superficiels, pauvres, dégradés et lessivés). Il peut se développer sur des sols à pH acide à forte concentration en aluminium et sur des cuirasses latéritiques pauvres ne pouvant supporter d'autres cultures (Vodouhe et al., 2003). Cependant il ne supporte pas les sols trop lourds ou argileux (Froment et Renard, 2001). En d'autres termes, c'est une plante qui présente un fort potentiel pouvant permettre à notre agriculture de faire face aux défis du changement climatique (Andrieu et al., 2015).

Il est généralement cultivé dans les zones de savanes où la pluviosité dépasse 400 mm par an (Vandenput, 1981). Cependant, il peut se développer aussi dans des zones recevant jusqu'à 3000 mm de pluie par an (Vodouhe et Dako, 2006).

La température moyenne préférée pendant le cycle cultural est comprise entre 25° et 30°C. Mais le fonio est cultivé jusqu'à 1500m d'altitude où la température moyenne est de l'ordre de 20°C (Froment et Renard, 2001).

I.3 Importance du fonio

I.3.1 Importance nutritionnelle et gustative

Le fonio, qui a longtemps été considéré comme une céréale mineure, la « céréale du pauvre », connaît aujourd'hui un regain d'intérêt en zone urbaine en raison des qualités gustatives et nutritionnelles que lui reconnaissent les consommateurs. Au Sénégal et dans certains pays d'Afrique tels que la Guinée, le Mali et le Burkina, le fonio constitue la base de nombreuses recettes très appréciées au plan culinaire et diététique. Il est habituellement consommé sous forme de couscous (foyo) ou de bouillies légères ou épaisses (dégu, moni, tô), mais de nombreuses autres préparations culinaires sont possibles (fonio au gras, salades, gâteaux, beignets, etc.), (Cruz et al., 2011).

Par rapport aux autres céréales, le fonio est moins riche en protéines, mais il est réputé pour ses fortes teneurs en acides aminés essentiels que l'organisme n'est pas capable de synthétiser seul comme la méthionine et la cystine (Affokpe, 2015). De plus, le fonio est une source raisonnable de fibres alimentaires, essentielles au bien-être digestif et au confort intestinal. Toutefois, les fibres contenues dans le fonio sont des fibres douces qui sont généralement bien tolérées d'un point de vue digestif. Sans gluten, le fonio est très digeste et rassasiant. D'un point de vue micronutriments, il contient une bonne quantité de fer et est globalement plus riche en vitamines et minéraux que les céréales raffinées classiques (Dambrine, 2020). Ces effets sur la santé sont attribuables au contenu en nutriments des grains entiers : antioxydants, fer, zinc, cuivre, magnésium, vitamines du complexe B et fibres (Zubiria, 2016).

I.3.2 Importance thérapeutique

Grâce à sa richesse en fibres et en nutriments antioxydants (cuivre, zinc, manganèse), cette céréale participe à la prévention des cancers aérodigestifs (colorectal, pharynx, œsophage, estomac...) et diminue le risque de développer une maladie cardiovasculaire, tout en stimulant la production de lymphocytes B et T (Haberfeld, 2020). Il contient également une forte concentration en fer qui aide à lutter contre l'anémie et d'autres acides aminés et acide folique bénéfiques pour les femmes pendant la grossesse. Le calcium, le phosphore et le magnésium

contenu dans le fonio, aident à enrayer les maladies osseuses comme l'ostéoporose à un âge avancé. Par ailleurs en raison de son faible indice glycémique et de sa forte teneur en fibres, le fonio peut également être un aliment très utile à consommer pour perdre du poids et permet en même temps de lutter contre le diabète de type 2 (Dambrine, 2020).

I.3.3 Importance socio culturelle

Au-delà de son importance alimentaire et thérapeutique, le fonio présente un statut socioculturel très important chez certaines ethnies. En effet, une étude menée par Diop (2018) au Sénégal, a montré que chez les Koniagui et les Bassari, le fonio est associé aux coutumes funéraires ; du fonio et des poulets sont offerts en sacrifice sur les poteaux funéraires de chaque lignée (Lestranger, 1955). Chez les Malinke du Niokolo (dans le Kédougou), les herbes de fonio sont indispensables à l'habillement du masque appelé « tountourgna ». Ce dernier est utilisé lors d'une danse qui a lieu au clair de lune (de la période d'après les récoltes du fonio) sur la place public ; c'est l'une des danses les plus endiablées (Camara, 2015). Chez les Mandingues, le fonio représente la « source de la vie ». Chez les Peulhs, notamment les forgerons, les offrandes en prélude à la construction de forge sont associées au fonio pour favoriser la prospérité (Appia, 1965).

I.3.4 Importance économique

Le fonio est commercialisé après transformation et en général sous forme blanchi, lavé ou non lavé, et précuit. Le rendement global des transformations, notamment du décorticage (décapsulage des balles et glumelles), du blanchiment (élimination sons et germe), et du lavage-dessablage est de 60 à 70% généralement.

Le marché du fonio génère environ 415 millions de francs CFA par an au Sénégal. La part du fonio sénégalais (produit à l'intérieur du pays) ne représente que 91 900 000 FCFA, c'est à dire moins du 1/4 des revenus générés par le fonio de manière générale. Plus des 3/4 du chiffre d'affaire du fonio, soit 322 175 000 FCFA, sont réalisés à partir du fonio importé. Ce qui signifie que le fonio sénégalais perd l'essentiel du marché intérieur. Le Sénégal exporte le fonio de façon marginale et la demande à l'export reste supérieure à l'offre disponible. Toutefois, les exportations ne sont pas le fait des transformatrices directes de fonio. Elles constituent plutôt un marché de niche exploité principalement par d'autres entreprises de transformation agroalimentaires (autre que le fonio) qui l'insèrent dans leur gamme de produits (USAID, 2008). Cependant certaines initiatives ont permis au fonio d'avoir une percée sur le marché local et de s'ouvrir à l'exportation grâce à l'installation des unités de transformation proposant

du fonio décortiqué précuit, prêt à être consommé. Malgré le faible niveau d'organisation, le degré de transformation des grains de fonio a une incidence sur les revenus issus de leur vente sur le marché local. En effet, dans les zones où les GIE sont impliqués dans la transformation, le kilogramme de fonio paddy coûte 400 FCFA et 1000 à 1200 FCFA pour le transformé (Diop, 2018).

I.3.5 Importance environnementale

Le fonio n'est pas seulement bénéfique pour notre corps mais aussi pour l'environnement. En effet, il est produit à travers une agriculture intelligente face au changement climatique. Sa culture ne nécessite pas un labour en profondeur, pratique considérée comme néfaste pour les sols. Il est traditionnellement cultivé en Guinée, au Nigeria, au Cameroun et au Sénégal sans amendement minéral, et s'adapte à différents types de sols et niveaux de précipitations (Cruz et al., 2011). En plus, avec son système de tallage, cette plante assure une couverture complète du sol assurant ainsi sa protection.

I.4 Principaux pays producteurs de fonio en Afrique

L'aire de culture du fonio en Afrique s'étend du Sénégal au lac Tchad (Figure 4). C'est surtout en Guinée, dans les régions montagneuses du Fouta-Djalou, qu'il représente l'une des bases de l'alimentation des populations (Cruz et al., 2011). C'est ce qui fait de ce pays, le premier producteur mondial de fonio et assure à lui seul environ 60 % de la production mondiale. Les principaux pays producteurs de fonio en Afrique sont respectivement (FAOSTAT, 2019b), la Guinée (530227 tonnes), le Nigeria (83317 tonnes), le Mali (40538 tonnes), la Côte d'Ivoire (20575 tonnes), le Burkina Faso (10238 tonnes), le Niger (6046 tonnes), le Sénégal (5151 tonnes), le Bénin (3806 tonnes) et la Guinée-Bissau (603 tonnes).

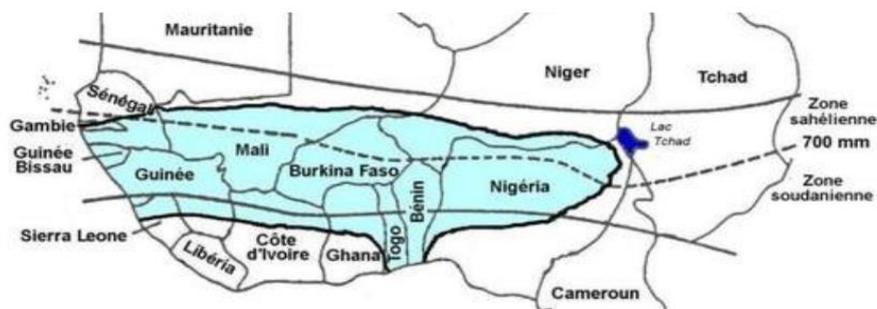


Figure 4: Aire de la culture du fonio en Afrique de l'Ouest

Source : Cruz et al. (2011)

I.5 Diversité génétique et critères distinctifs des variétés de fonio en Afrique

L'aire culturale du fonio couvre annuellement près de 300 000 ha de superficies emblavées et son foyer d'origine semble être le cours supérieur des fleuves Gambie, Sénégal et Niger qui arrosent les régions où la pluviométrie varie de 500 à 1200 mm (Vodouhe et al., 2003). C'est sur les hauts plateaux du Fouta-Djalon que poussent le plus grand nombre des formes de cette plante. Cette région est considérée comme le centre de dispersion primaire du fonio où l'on rencontre les plus grandes superficies cultivées (BCEPA, 2013) et la plus grande diversité (46 variétés). Le fonio a conquis des espaces couvrant 15 pays de l'Afrique Occidentale et Centrale incluant la zone Bantou à travers les contacts et les mouvements des sociétés (Vodouhe et al., 2003). Portères, (1955) a recensé plus de 15 variétés dans le Fouta-Djalon et ses environs et souligne aussi que le nombre de ces variétés à tendance à fortement décroître lorsqu'on s'en éloigne (Figure 5).

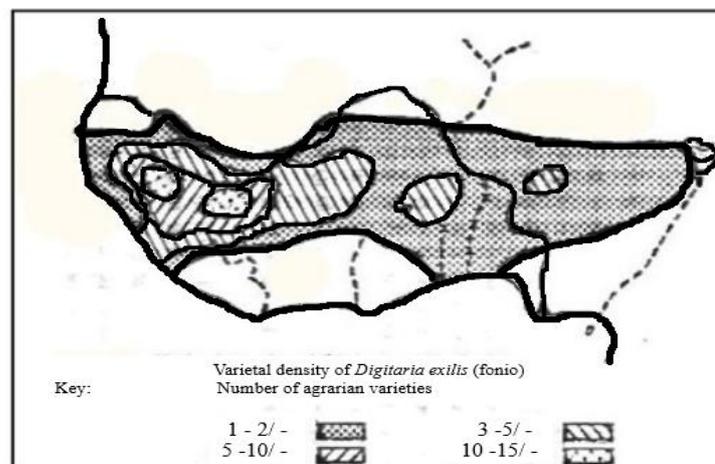


Figure 5: Densité variétale du fonio (Porteres, 1976)

Cependant, il souligne qu'il est possible qu'une variété botanique de fonio puisse porter différents noms selon l'endroit où elle est cultivée. Cela implique la plus grande prudence lorsqu'on utilise les noms locaux pour désigner des variétés de fonio. En effet, certains groupes ethniques se basent sur l'utilisation de caractères botaniques, pas toujours stabilisés, pour identifier leurs variétés de fonio. Ainsi, en Guinée, les paysans Peulhs se servent de la couleur des péricarpes, la forme et la grosseur des grains pour identifier leurs variétés (Dupuis, Stilmant,

et Forest, 2007) : péricarpe blanc (Fonyè Ranè en pular), péricarpe sombre (Fonyè Bhalè), péricarpe à couleur paille (Fonyè Bodhè), péricarpe à petits grains (Fonyè Sewko) et péricarpe à gros grains (Fonyè Koulli).

D'autres, se basant par contre sur les caractères utilisés par les paysans, notamment le cycle végétatif, (Renoux et Dumas, 1905 cité par Portères, 1955), ont classé les variétés de fonio en quatre groupes : variétés hâtives (90 – 110 jours), variétés mi-hâtives (environ 120 jours), variétés mi-tardives (environ 135 jours) et variétés tardives (plus de 135 jours).

Par ailleurs, sur la base des appellations locales et de certains caractères raciaux, Portères (1955), a distingué cinq groupes correspondant à des variétés botaniques : variété *densa* (rencontrée au Togo), variété *rustica* (tardive), variété *mixta*, variété *stricta* (rencontrée en Guinée, au Mali, en Casamance et au Burkina Faso) et variété *elliptica*.

I.6 Culture du fonio au Sénégal

I.6.1 Production nationale du fonio

La production nationale de fonio reste faible, irrégulière et variable d'une année à l'autre (figure 6). Son taux de commercialisation varie de 15 à 20% et son taux d'autoconsommation de 80 à 85% (USAID, 2008). Le marché est approvisionné par la production nationale que sur une période de 3 mois (novembre à Janvier) dans l'année. Pendant tout le reste de l'année (février à octobre), le fonio national est soit absent ou très faiblement représenté sur le marché (USAID, 2008). La production la plus élevée sur les quatorze dernières années, à partir de 2005, a été obtenue en 2019 avec une production record de 5 151 tonnes pour une superficie de 5 897 hectares (FAOSTAT 2019). Cette augmentation de la production à partir de 2010 est due en partie à une forte implication des GIE dans la transformation qui ont permis une revalorisation du prix du fonio (Diop, 2018), incitant ainsi certains producteurs à se lancer dans la production de ce dernier.

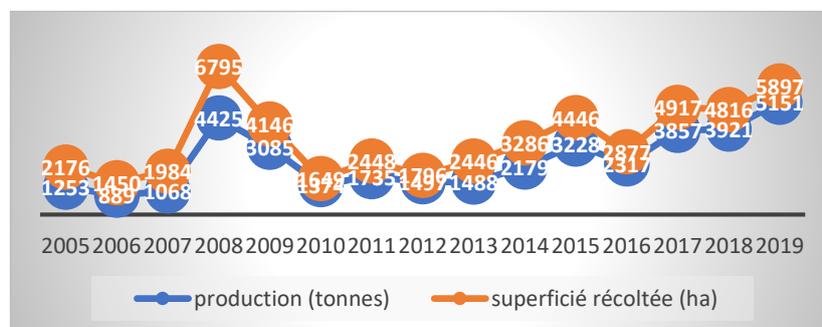


Figure 6: Evolution de la production nationale du fonio entre 2005 et 2019

Source données : FAOSTAT 2019

I.6.2 Principales zones de production du fonio

La zone de production du fonio correspond particulièrement aux régions de Tambacounda, de Kédougou, de Sédhiou, de Kolda au Sud et de Kaffrine (zone Kounghoul) au centre ouest. Le fonio reste partout une culture des groupes ethniques les moins représentés du pays (Figure 4) : peulh du Fouta, bassari, jallonkés, tenda, kognagui (Kédougou, Kolda, Vélingara, Kounghoul), des mandingues (Sédhiou, Tambacounda), (USAID, 2008).

Cette céréale reste presque inconnue des autres ethnies bien que poussant sur presque tous les sols (sauf hydromorphes), sous des pluviométries variant des hauteurs 200 à 1500 mm (USAID 2008). Pourtant le fonio ressemble à beaucoup de millets sauvages qui, traditionnellement, étaient cueillis et consommés au Nord du pays. Mais il n'en demeure pas moins que la limite de la culture du fonio reste localisée au sud de l'axe Kaffrine Tambacounda (Figure 7).

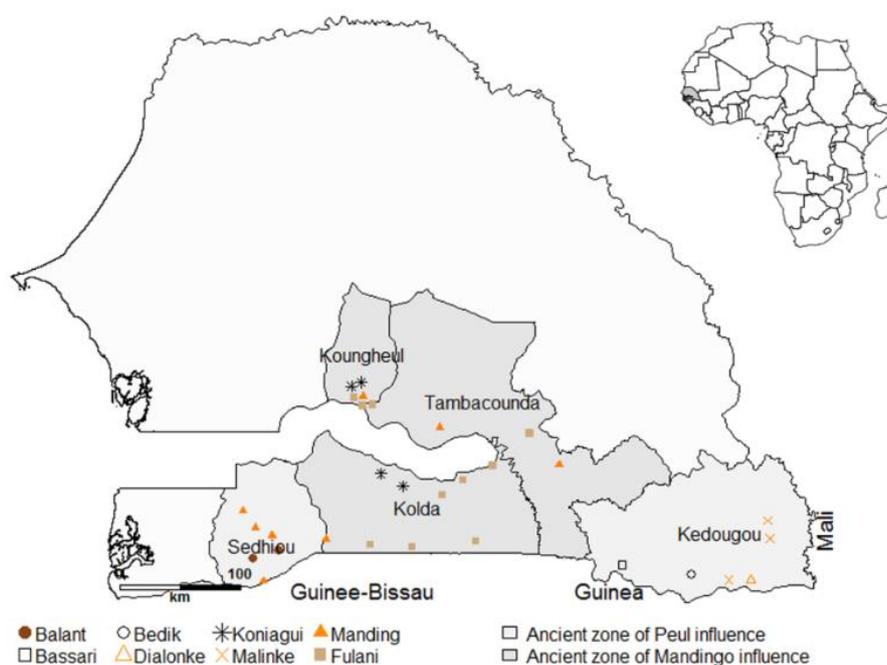


Figure 7: Zones de production du fonio au Sénégal suivant les ethnies.

Source : Diop, 2018

I.6.3 Principales variétés cultivées

Les variétés de fonio cultivées au Sénégal sont : yawko (extra-précoce avec cycle végétatif de 60 à 75 jours), Mora (Hâtive : 90 jours), Rane (Semi-tardive : cycle intermédiaire 100 à 120 jours), Maoko (Tardive, cycle végétatif long de 150 jours, grains plus gros et plus lourd, a tendance à disparaître dans la zone de Kolda), (USAID, 2008).

Le fonio extra précoce est cultivé pour faire face aux périodes de soudure. C'est une variété stratégique chez les producteurs, car elle mûrit très tôt, en général, en fin Août (au cœur de la soudure), période correspondant aux moments où les greniers sont vides.

Les variétés hâtives et semi tardives sont cultivées essentiellement pour l'autoconsommation des ménages en alternance avec les autres céréales (mil, maïs, sorgho) pendant le reste de l'année.

Quant aux variétés tardives, elles ont tendance à disparaître dans certaines zones. Cela résulte principalement de la concurrence qu'exercent les autres cultures à cycle long mais surtout du choix porté sur les variétés mieux adaptées pour la soudure (USAID, 2008).

Par ailleurs, le 03 Juin 2021, l'ISRA a procédé à l'homologation de trois écotypes (CFS 52, CVF 477 et NIATA) considérés comme étant les meilleures accessions de la collection nationale (Tableau I).

Tableau I: Caractéristiques des variétés cataloguées par l'ISRA

Ecotype	50% floraison (jours)	Hauteur plante (cm)	Poids 1000 grains (g)	Rdt station (kg/ha)	Rdt milieu paysan (kg/ha)	Rdt décortilage (%)	Rdt blanchissement (%)	Teneur protéines (%m.s)
CFS 52	61	79,6	0,65	1200	727	55	91	8,5
CVF 477	64	79,1	0,67	1254	750	52	96	7,6
NIATA	67	78,6	0,72	1288	744	52	95	8,6

I.6.4 Avancées de la recherche sur le fonio

Le fonio, céréale ancienne, se présente de nos jours comme étant l'une des cultures pouvant assurer la transition vers des systèmes durables adaptés au changement climatique et aux défis environnementaux. En effet, grâce à sa capacité d'adaptation très large et son importance du point de vue nutritionnelle, le fonio attire l'attention de nombreux chercheurs notamment ceux du Sénégal. C'est ainsi qu'un recensement et caractérisation du germoplasme local, mené par un groupe de chercheurs d'Afrique, a permis de mettre en place une nouvelle collection de 180 accessions cultivées et 134 sauvages en plus d'une ancienne collection de 64 accessions cultivées. De cette étude, ont découlé trois variétés homologuées dont une d'origine sénégalaise dénommée « FOFANA » qui sont Niata, CVF477, CFS52. A cela, s'ajoute les recherches de Kanfany, (2009) qui a montré que le rendement optimal en fonio est obtenu avec une dose de 100 kg/ha de N₁₅P₁₅K₁₅.

En 2018, une étude portant sur les pratiques paysannes et dynamiques de la diversité génétique du fonio, effectuée par Diop (2018), a permis de démontrer que la culture de fonio est essentiellement liée à certains groupes d'éthnies, localisés majoritairement au sud du Sénégal, tels que les Mandingues, Bassari, Bedik et Koniagui. En plus, les résultats de ses recherches ont montré que le fonio est significativement plus cultivé par les femmes que par les hommes.

En 2020, le reséquençage en profondeur du génome du fonio effectué sur 183 *Digitaria* cultivés et sauvage a permis de mieux comprendre la diversité génétique, la structure de la population et la domestication. Cette étude a fait ressortir l'aspect tétraploïde du *Digitaria exilis* avec $2n = 4x = 36$, 893MB/1C et 600k gènes, mais aussi des gènes cibles permettant d'améliorer rapidement cette culture pour l'agriculture dans des environnements chauds et secs.

Ces études ont permis d'avoir une meilleure compréhension des facteurs ethnobotaniques impactant l'importance et la dynamique de la culture. En effet, la culture de fonio au Sénégal est principalement axée sur un système de type familial avec une production destinée à la consommation et un niveau de modernisation faible. Le fonio est éminemment une culture culturelle, cultivé en pure dans les champs et jouant aussi un rôle non négligeable dans la résilience des cultivateurs avec les femmes comme principales actrices. Cependant, cette culture enregistre une régression marquée et hétérogène dans les agrosystèmes.

De ces résultats, ont découlé un certain nombre d'orientations visant à mettre en place un réseau sous régional dans le but d'effectuer des tests d'adaptation de variétés étrangères, apporter une précision sur l'ontologie des caractères clés, et éventuellement sur un programme d'amélioration variétale.

Par ailleurs, compte tenu de la situation de cette filière, l'Etat du Sénégal a fait des avancées très significatives grâce au renforcement du plaidoyer et une consolidation des liens avec les acteurs de la filière.

I.7 Problèmes liés à la culture du fonio

I.7.1 Fonio en tant que « neglected and underutilised species, (NUS) »

Le fonio est une culture négligée (Konate et al., 2021). Certains auteurs classent les céréales en céréales majeures (blé, riz, mil, maïs, sorgho,) et céréales secondaires parmi lesquelles le fonio et le millet sauvage. La principale raison de l'abandon de cette culture dans certains pays, est son faible rendement. Dans d'autres pays par exemple le fonio a été abandonné par les hommes devenant ainsi une culture typiquement féminine avec des surfaces réduites avoisinant 0,2 à 0,5 ha. Il joue ainsi un rôle de céréale de soudure durant les mois les plus difficiles pour l'obtention

de ressources alimentaires (Cruz et al., 2011). En 2015, la superficie totale récoltée pour le fonio en Afrique (FAOSTAT, 2019b), est de 886 552 ha. Elle est très faible comparée aux autres céréales cultivées comme le sorgho (13 455 434 ha), le mil (12 711 686 ha), le maïs (12 390 752 ha) et le riz paddy (8 320 697 ha) (Figure 8).

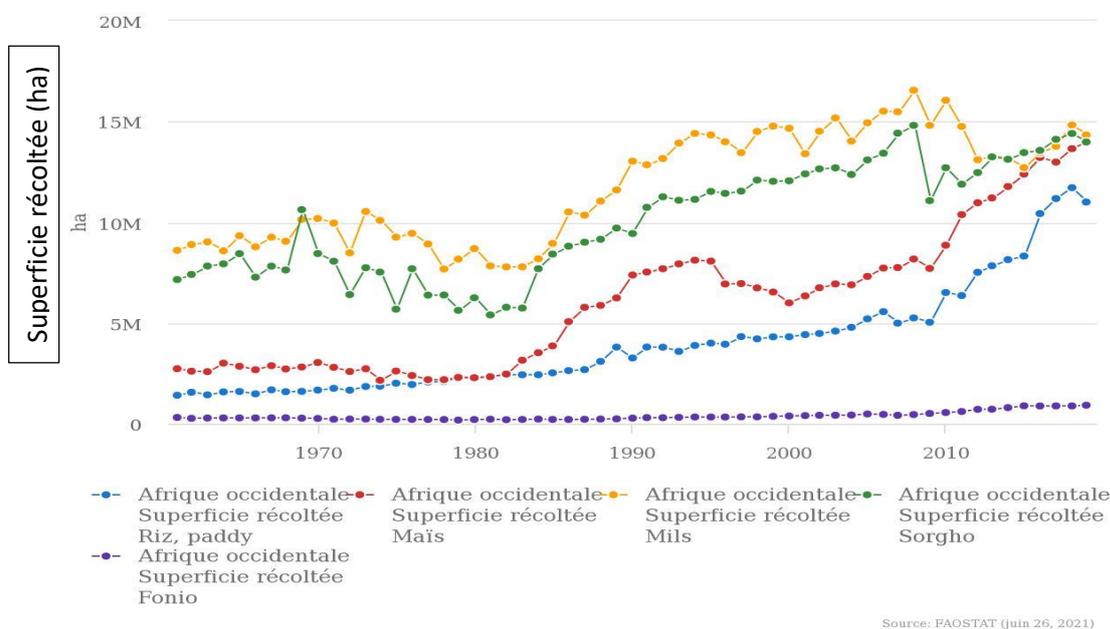


Figure 8: Production de fonio comparée aux autres céréales en Afrique de l’Ouest

Source : FAOSTAT 2019

I.7.2 Absence de descripteurs pour le fonio

Un descripteur est un outil important qui permet le partage d'informations pour les cultures couvertes par l'ANNEXE 1 du Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Un descripteur végétal est une caractéristique identifiable et quantifiable d'une espèce. Les descripteurs sont utilisés dans la caractérisation et dans l'évaluation des populations pour faciliter leur différenciation et rendre facile la classification, le stockage, la récupération et l'utilisation de données (Painting et al., 1993). Il existe plusieurs catégories de descripteurs qui sont : les descripteurs « Passeport », les descripteurs « gestion », les descripteurs « environnements » et sites, les descripteurs « caractérisation » et les descripteurs « évaluation ». Ces derniers sont très importants pour l'amélioration des plantes cultivées. Contrairement aux autres céréales, le fonio ne dispose pas de descripteurs d'après la liste publiée par Anonyme (2018).

I.7.3 Difficultés liées à la récolte et à la transformation

Selon la variété, le fonio arrive à maturité quand les plantes jaunissent et commencent à se verser (Fofana et al., 2017). La récolte est une opération exclusivement manuelle et elle est faite à la faucille par les hommes d'une même famille ou par des groupes d'entraide qui vont, tour à tour, sur les champs des différents membres du groupe. C'est une activité très exigeante en main-d'œuvre et nécessite, en général, de 20 à 30 hommes par jour et par hectare (Cruz et al., 2011). La pénibilité de la récolte freine l'extension des superficies, ce qui réduit l'aménagement de grandes superficies qui exige une forte main d'œuvre à la récolte. En plus de cela, s'ajoute un taux de pertes important à la récolte (USAID, 2008).

Comme le riz, le fonio ne se consomme que décortiqué et le plus souvent blanchi. Cependant, le temps consacré à la transformation est long et certaines opérations telles que le lavage et le dessablage sont encore manuelles. Ces derniers constituent un réel frein à une production importante (USAID, 2008). En plus, la pré-cuisson au feu de bois est grande consommatrice de bois si on passe à des échelles de transformation importantes.

I.7.4 Contraintes spécifiques au Sénégal

Insuffisamment pris en compte dans les programmes et politiques de développement, le fonio est toujours resté le parent pauvre des initiatives étatiques pour accompagner les collectivités locales. Selon USAID (2008), la culture du fonio au Sénégal est freinée par des contraintes de plusieurs ordres telles que:

- ❖ les faibles rendements et faibles épurations des semences traditionnelles utilisées;
- ❖ la faible rentabilité de la parcelle du fait de la pratique du semis à la volée ;
- ❖ les travaux d'entretien inexistantes ou souvent sommaires ;
- ❖ la pénibilité de la récolte qui freine l'extension des superficies ;
- ❖ le taux de pertes important à la récolte ;
- ❖ l'insuffisance des services d'appui et d'encadrement des producteurs ;
- ❖ le temps consacré à la transformation très long;
- ❖ le manque de moyens pour la recherche.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1 Sites de l'étude

L'étude a été effectuée dans deux sites se trouvant dans deux zones agro écologiques différentes. Le premier site est le PAPEM (Point d'Appui de Pré-vulgarisation et d'Expérimentations Multi-locales) de Vélingara situé en haute Casamance et le deuxième, est la station de recherche de Nioro du Rip, située dans le Bassin arachidier, c'est-à-dire en zone soudano-sahélienne.

❖ Le PAPEM de Vélingara

Le PAPEM de Vélingara, situé en haute Casamance, est localisé dans le département de Vélingara plus précisément dans l'arrondissement de Sare Coly Sallé, à quelques kilomètres du centre-ville (figure 9).

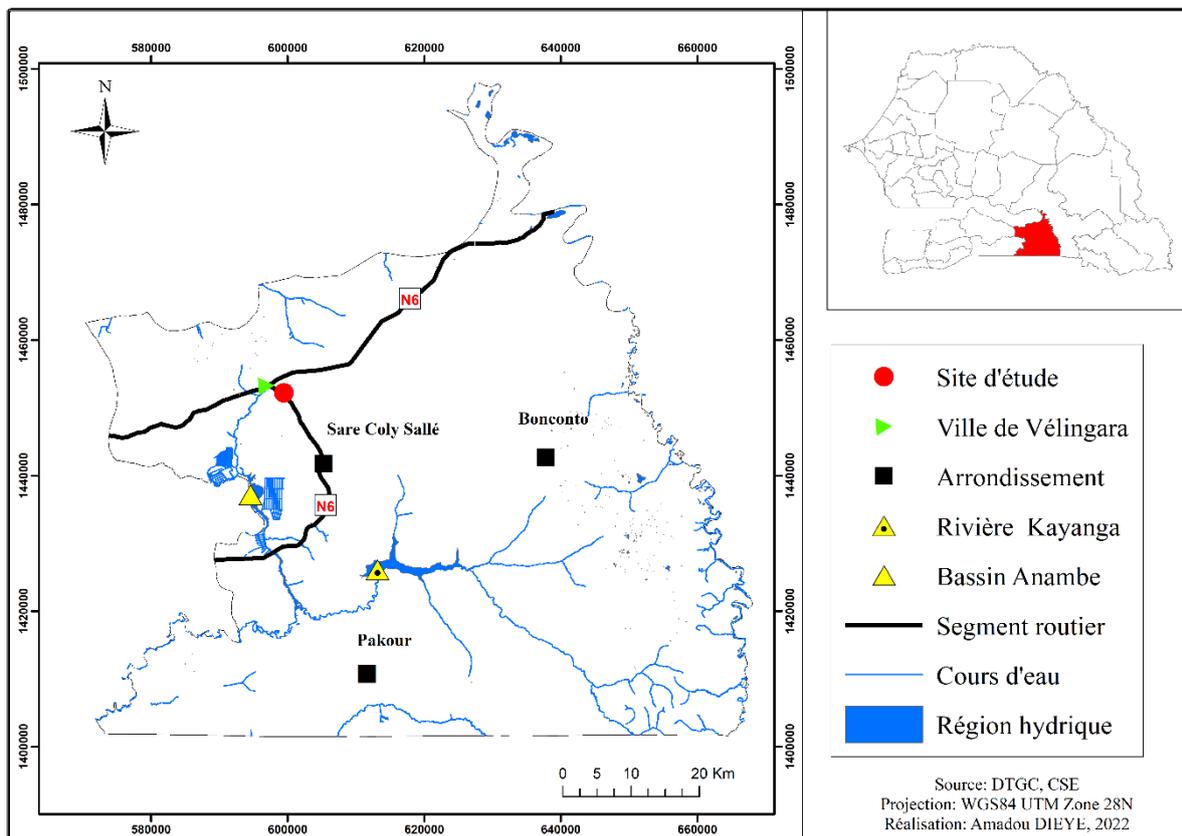


Figure 9: Localisation du PAPEM de Vélingara

Cette station est caractérisée par des sols ferrugineux tropicaux lessivés avec une texture sablo-argileuse et un climat qui relève du domaine sud-soudanien continental (Sagna, 2005). Les précipitations au niveau de cette zone s'étalent de juin à octobre avec une intensité maximale

sur la période août-septembre avec des cumuls mensuels (pendant la durée de l'essai) variant entre 350,6 mm pour le mois d'août et 60,7 mm pour le mois d'octobre (figure 10).

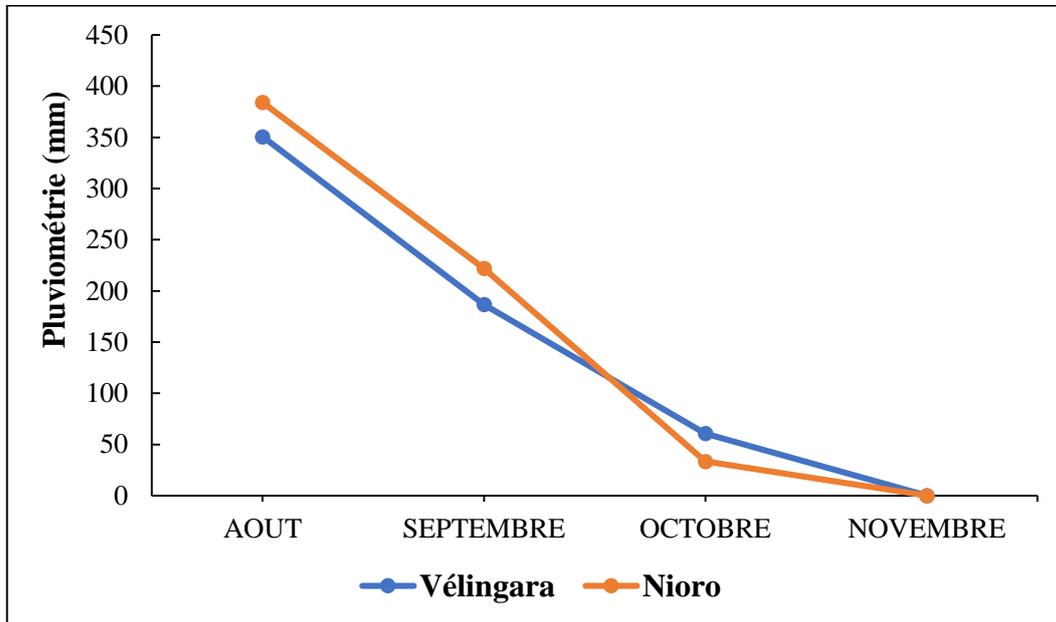


Figure 10: Pluviométrie des sites d'études durant l'essai (hivernage 2021)

Source : ANACIM 2021

❖ La station de Nioro

Cette station se trouve dans la région de Kaolack, département de Nioro du Rip et arrondissement de Paoscoto à moins de 2 kilomètres de la ville (figure 11). Elle est caractérisée par des sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés avec une texture sablo-argileuse. Le climat est de type soudano sahélien (ANSD, 2008), marqué par des températures relativement hautes, une longue saison sèche (de Novembre à Juin) et une saison des pluies de quatre mois (Juillet à Octobre). Les cumuls pluviométriques mensuels, durant l'essai, varient entre 384,2 mm pour le mois d'août et 33,4 mm pour le mois d'octobre (figure 10).

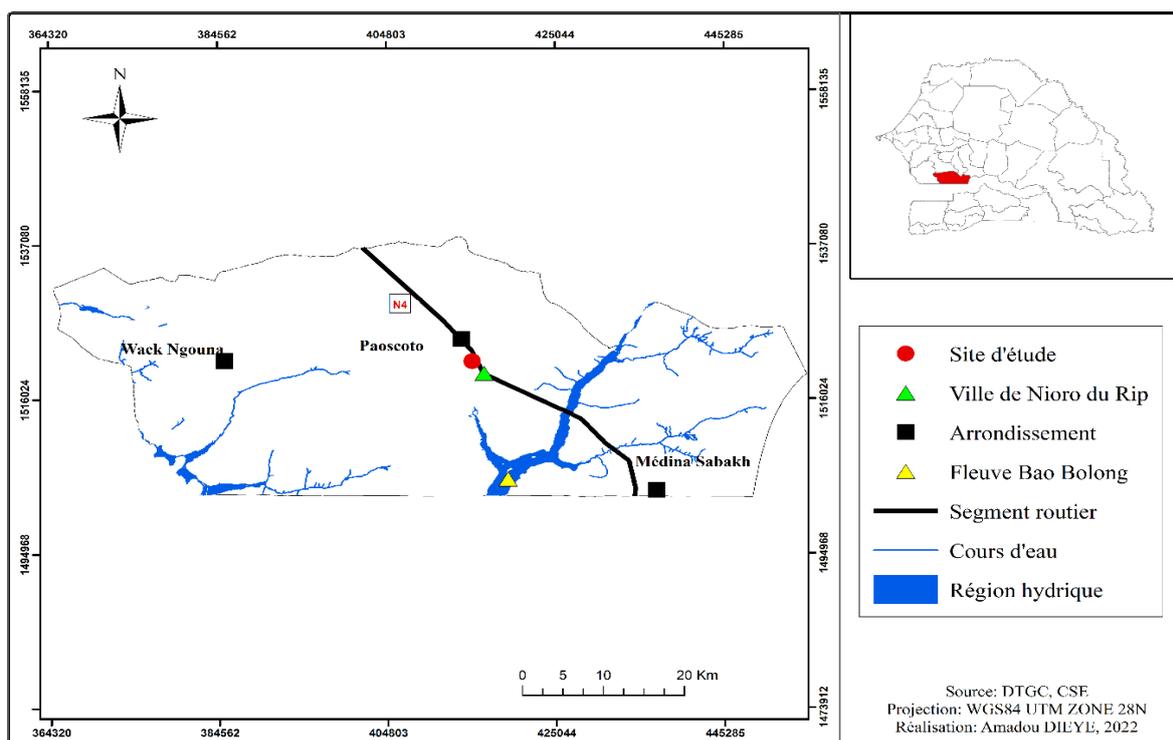


Figure 11: Localisation de la station de recherche de Nioro du Rip

II.2 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de 19 variétés/accessions de fonio cultivé (*Digitaria exilis*). Ces variétés/accessions ont été collectées à travers 4 pays qui sont le Sénégal, le Mali, le Burkina Faso et le Niger (tableau II).

Tableau II : Variétés/Accessions et leurs pays d'origine

Variétés/accessions	Pays D'origine	Variété/accessions	Pays D'origine
NIATA	Sénégal	CVF109	Burkina Faso
CVF477	Sénégal	CVF186	Burkina Faso
CFS 52	Sénégal	CVF234	Burkina Faso
Ech 2	Sénégal	CVF318	Burkina Faso
Ech 3	Sénégal	CVF416	Burkina Faso
Ech 4	Sénégal	CVF424	Burkina Faso
Peazo	Mali	Intaya 1	Niger
Solosso	Mali	Intaya 2	Niger
Tongo	Mali	Intaya 3	Niger
Bankokokountre	Mali		

II.3 Dispositif expérimental

Dans le cadre de cette expérimentation, un dispositif en blocs complets randomisés, à 2 facteurs (site et variétés) et 3 répétitions, a été utilisé. Chaque bloc correspond à une répétition et est composé de 19 parcelles élémentaires dont chacune représente une variété donnée. Les parcelles ont une superficie de 8m² (2m×4m), et sont constituées de 6 lignes d'une longueur de 2m chacune avec un écartement de 80cm entre les lignes. Toutefois, la disposition des parcelles diffère d'un site à un autre (figure 12).



Figure 12: Dispositif expérimental

II.4 Conduite de l'essai

Elle concerne toutes les activités menées, allant de la mise place de l'essai jusqu'à la post-récolte. Elle a débuté avec une préparation de sol par un labour superficiel suivi d'une

délimitation de la longueur totale des parcelles (ligne de référence) et des répétitions avec la méthode 3, 4, 5 (Figure 13).



Figure 13 : Ligne de référence

Ensuite les lignes de semis ont été tracées avec un rayonneur de 80cm (Figure 14A) puis les parcelles d'une superficie de 8m² (2m×4m) sont délimitées dans chaque bloc ou répétition avec un ruban mètre, des piquets et un cordeau (Figure 14B).

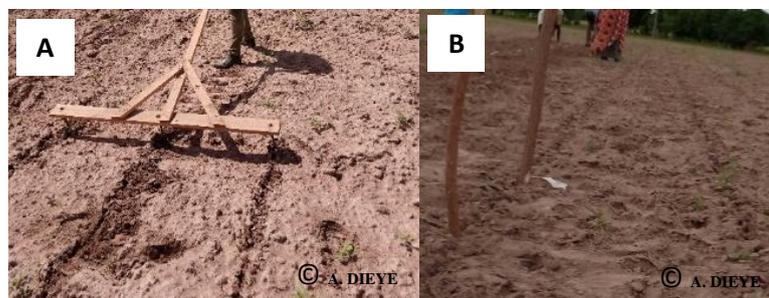


Figure 14 : Traçage des lignes de semis (A) et délimitation des parcelles (B)

Chaque ligne de semis est amendée avec l'engrais N₁₅P₁₅K₁₅ à la dose de 50kg/ha puis semée à une dose de 2 grammes. Les parcelles sont étiquetées pour l'identification et sarclées au besoin. Après récolte, le battage (Figure 15A, B, C et D) suivi du vannage (Figure 16A, B, C et D) des grains ont été effectués.



Figure 15 : Battage de la récolte (A et B) et séparation des grains (C) et paille (D)



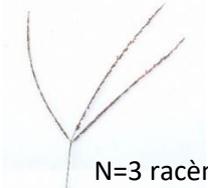
Figure 16 : Vannage des grains après battage (A et B) et produit obtenu après vannage (C)

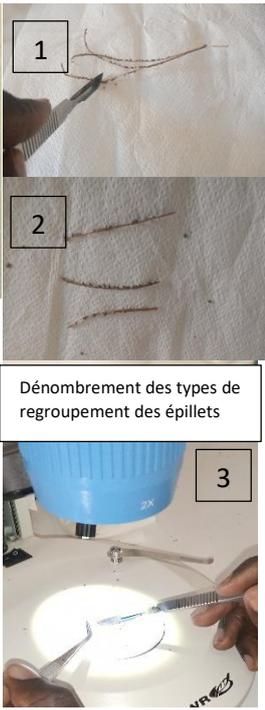
II.5 Observations et mesures des caractères étudiés

Les caractères étudiés sont au nombre de 14 (tableau III) et ont été choisis en collaboration avec d'autres chercheurs de la sous-région sur la base de précédentes d'études.

Tableau III: Caractères mesurés et les méthodes de mesure

Caractères	Abréviations	Descriptions	Unités de mesure	Matériel ou méthodes de mesure
Date 50% floraison	DFL	Elle correspond à la date au bout de laquelle les racèmes sont dégagés pour 50% des plants de la parcelle. précoce (45-60) /moyen (61-70)/tardif (71-104)	Jours après semis (JAS)	Dénombrement
Nombre de racèmes par panicule	NRP	Il a été mesuré avant ou après récolte en comptant le nombre de racèmes de trois panicules d'un plant pour 3 plants dans la parcelle.		Dénombrement

		 <p>N=3 racèmes</p>		
Longueur des racèmes par panicule	LRP	Elle est mesurée avant la récolte, sur trois racèmes par panicule pour 3 plants dans la parcelle.	cm	 <p>Règle graduée</p>
Date 50% maturité	DFM	Elle correspond à la date au bout de laquelle la couleur des grains est marron ou pourpre ou lorsque les plants commencent à verser pour 50% des plants de la parcelle. Précoce (60-85) /moyen (86-100)/tardif (101-120)	Jours après semis (JAS)	Dénombrement
Biomasse aérienne	BA	Les plants de toute la parcelle élémentaire ont été pesés après récolte et séchage au soleil pendant 5 jours	g	 <p>Balance électronique</p> 
Hauteur des plantes	HP	Elle a été mesurée de la base de la plante à l'extrémité des racèmes sur trois plants choisis au hasard dans la parcelle élémentaire avant récolte.	cm	Règle graduée

Longueur d'exertion de la panicule	EXE	Elle a été mesuré avant récolte pour l'espace comprise entre la feuille drapeau et le début du doigt ou racème de la panicule. Cette mesure a été effectuée sur 3 plants choisis au hasard dans la parcelle élémentaire.	cm	
Groupement des épillets	GEP	Trois (3) panicules ont été prélevées dans chaque parcelle élémentaire, ensuite le type de regroupement des épillets a été déterminé à l'aide d'une loupe binoculaire après la récolte. Le type de regroupement des épillets donne des informations sur le type de variété du fonio NB : Les racèmes portent les épillets groupés par deux (variétés hâtives), trois ou quatre (variétés tardives) sur des pédicelles.	 <p>N=4 © A. DIEYE</p>	 <p>Dénombrement des types de regroupement des épillets</p>
Longueur des feuilles	LoF	Avant récolte, sur 3 plants différents d'une variété/parcelle, la longueur de la 3 ^{ème} feuille après la feuille drapeau de la panicule a été mesurée.	cm	
Largeur des feuilles	LaF	Avant récolte, sur 3 plants différents d'une variété/parcelle, la largeur de la 3 ^{ème} feuille après la feuille drapeau de la panicule a été mesurée.	cm	

Longueur de la feuille drapeau	LoFd	Avant récolte, la longueur de la feuille drapeau sur 3 plants différents d'une variété/parcelle a été mesurée.	cm	
Largeur de la feuille drapeau	LaFd	Avant récolte, la largeur de la feuille drapeau sur 3 plants différents d'une variété/parcelle a été mesurée.	cm	
Poids des grains	PGr	Après récolte et égrenage des panicules des plants de la parcelle, les grains ont été pesés.	g	
Couleur du grain	CG	Après vannage, une observation à l'œil nu de l'ensemble des grains récoltés dans chaque parcelle élémentaire a été effectuée.		 <p>Gris Gris orange</p> <p>Appréciation visuelle</p>

II.6 Traitement des données

Les données obtenues ont été d'abord soumises à un test de normalité (test de Shapiro) suivi d'une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs pour étudier l'interaction entre le facteur variétés/accessions et le facteur site. Lorsque les effets de ces facteurs (site et variétés) sont significatifs, un test de comparaisons des moyennes (test de Turkey) au seuil de signification de 5% a été effectué afin d'identifier les différences significatives entre les variétés/accessions. L'interaction ou la corrélation entre les différents caractères quantitatifs étudiés a été évaluée grâce à une Analyse en Composantes Principales (ACP), par site (pour les caractères dont l'effet site est significatif) et les deux sites regroupés (pour les caractères dont l'effet site n'est pas significatif). A l'aide d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), les

variétés/accessions sont regroupées en différentes classes homogènes, puis caractérisées à l'aide de l'analyse de variance. Enfin une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été effectuée afin de faire ressortir les caractères discriminants des classes issues de la CAH.

III. RESULTATS

III.1 Variabilité des caractères qualitatifs

Les deux caractères qualitatifs étudiés étaient la couleur du grain et le groupement des épillets. Les résultats obtenus ont montré que toutes les variétés testées présentent une couleur gris-orange.

Quant au type de regroupement des épillets, les résultats ont montré que les variétés présentent des épillets regroupés par trois et/ou quatre. Toutefois, le mode de regroupement des épillets par 3 est plus fréquent chez les variétés/accessions observés comparé au regroupement par 4, à l'exception de CVF 416 et intaya 3 (Figure 17).

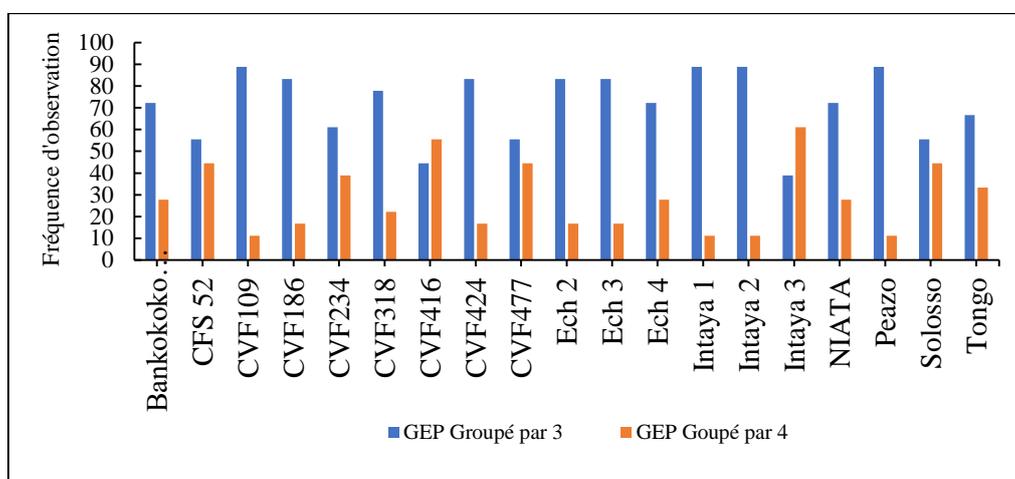


Figure 17 : Fréquence d'observation du mode de regroupement des épillets

III.2 Caractères quantitatifs du fonio selon le site

Le tableau IV présente l'effet du site sur les paramètres quantitatifs. Les résultats de l'ANOVA ont montré un effet site hautement significatif pour les variables date de 50% de floraison (DFL), biomasse aérienne (BA) et largeur des feuilles (LAF) et très hautement significatif pour la variables hauteur des plantes (HP), longueur des racèmes par panicule (LRP) et longueur d'exertion de la panicule (EXE). En effet, la date 50% floraison, la biomasse aérienne, le nombre de racèmes par plante, la longueur des racèmes par panicule et la largeur des feuilles sont significativement plus élevés à Nioro avec 62,95 JAS, 6780,89 g, 12,1456 cm et 0,563 cm respectivement. Quant aux variables hauteur des plantes, et longueur d'exertion de la panicule, elles sont significativement plus élevées à Vélingara avec 107,6 cm, 16,5421 cm.

Tableau IV : Variabilité des caractères quantitatifs entre sites

Variables	Moyennes		P-value (SITE)
	Vélingara	Nioro	
DFL (JAS)	59,9474	62,9474	0,0039**
DFM (JAS)	83,6842	82,2281	0,2432
HP (cm)	107,6000	91,5825	< 0,0001***
NRP	3,0351	3,1579	0,0858
BA (g)	6350,87	6780,89	0,0020**
LRP (cm)	11,4649	12,1456	0,0001***
EXE (cm)	16,5421	12,5105	< 0,0001***
LoF (cm)	8,9526	9,3596	0,1569
LaF (cm)	0,528	0,563	0,0025**
LoFD (cm)	7,591	7,170	0,1281
LaFD (cm)	0,3684	0,3561	0,2074
PGR (g)	658,49	636,05	0,6607

DFL (Date 50% floraison) ; **DFM** (Date 50% de maturité) ; **HP** (Hauteur des plantes) ; **NRP** (Nombre de racèmes par panicule) ; **BA** (Biomasse aérienne) ; **LRP** (Longueur des racèmes par panicules) ; **EXE** (Longueur d'exertion de la panicule) ; **LoF** (Longueur des feuilles) ; **LaF** (Largeur des feuilles) ; **LoFd** (Longueur feuilles drapeaux) ; **LaFd** (Largeur feuilles drapeaux) ; **PGR** (Poids de grains).

III.3 Variabilités inter variétés/accessions pour les deux sites confondus

III.3.1 Date 50% de maturité (DFM)

La figure 18 représente la répartition des variétés/accessions en fonction de la date 50% de maturité dans les deux sites confondus. Il apparaît ainsi que les variétés/accessions se répartissent en trois groupes : le premier groupe situé entre 60 et 85 jas (variétés précoces) regroupe les variétés/accessions Bankokokountre, CFS 52, CVF 477, Ech 3, Intaya 1, Intaya 2, Intaya 3, Niata, Peazo, Solosso et Tongo ; le deuxième groupe situé entre 86 et 100 jas (variétés à cycle moyen) constitué de CVF 109, CVF 186, CVF 234, Ech 2 et Ech 4 ; et le dernier groupe situé entre 101 et 120 (variétés tardives) comprenant les variétés/accessions CVF 318, CVF 416 et CVF 424.

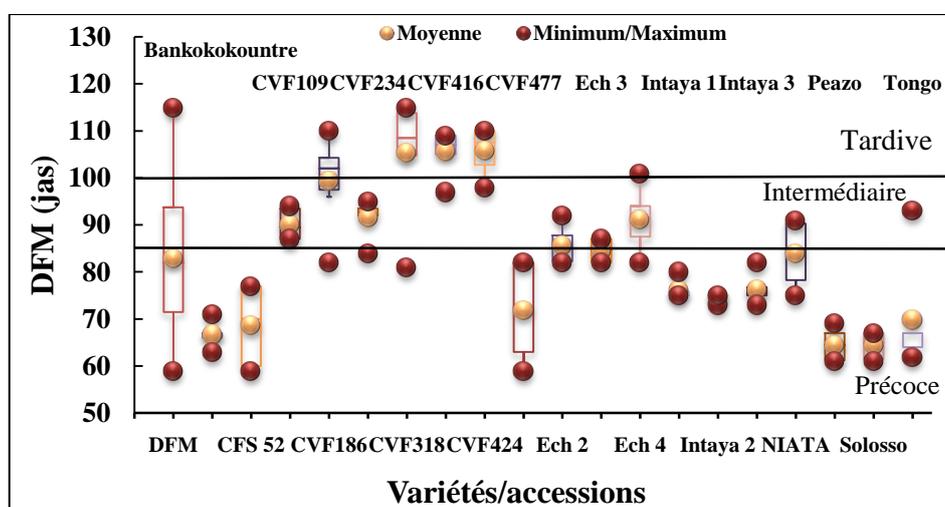


Figure 18: Répartition des variétés/accessions en fonction de la date 50% de maturité

III.3.2 Nombre de racèmes par panicule (NRP)

L'analyse de variance a montré une différence significative ($p=0,01318^*$) entre les variétés/accessions (figure 19). CVF 234 a le nombre de racèmes le plus élevé (NRP=4), contrairement à Intaya 3 qui a le plus faible nombre en racèmes (NRP=2).

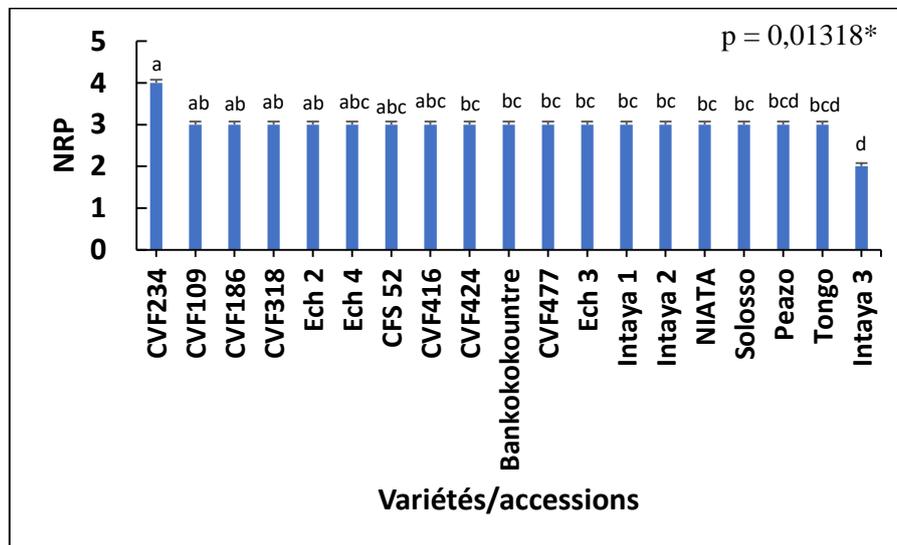


Figure 19: Nombre de racèmes par plante en fonction des variétés/accessions

III.3.3 Longueur des feuilles (LoF)

La figure 20 représente la répartition des variétés/accessions en fonction de la longueur des feuilles. L'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative ($p=1,31e^{-09***}$) de ce paramètre en fonction des variétés/accessions. CVF 109 (12 cm) et CVF 186 (11,6 cm) présentent les feuilles les plus longues. Les feuilles ayant la plus faible longueur sont observées avec les variétés/accessions Peazo (6,2 cm), Solosso (6,9 cm) et Tongo (7,5 cm).

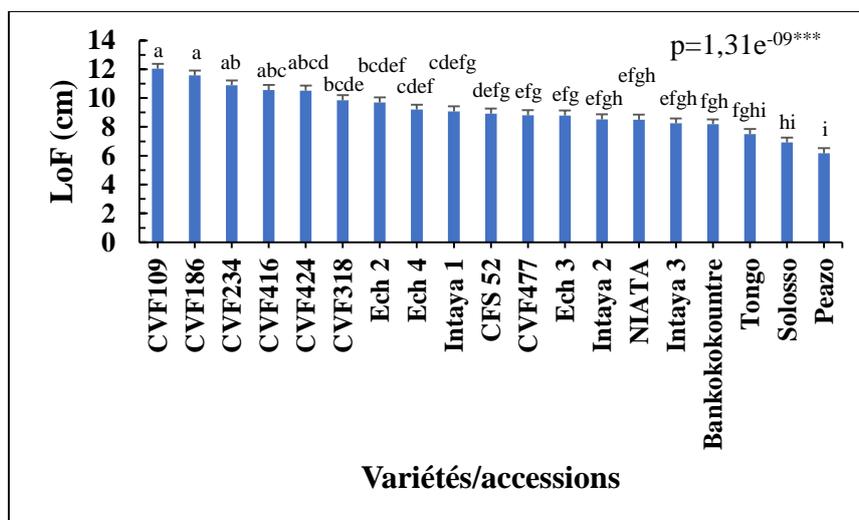


Figure 20 : Longueur des feuilles en fonction des variétés/accessions

III.3.4 Longueur des feuilles drapeaux (LoFd)

La figure 21 représente la variabilité inter variétés/accessions en fonction de la longueur des feuilles drapeaux. L'analyse de variance a montré une différence très hautement significative ($p=0,000636^{***}$) de ce paramètre entre les variétés/accessions. La longueur des feuilles drapeaux la plus importante est notée au niveau de Intaya 2 (9 cm) suivie de Ech 4 (8,34 cm) et CVF 416 (8,3 cm). La variété ayant les feuilles drapeaux les plus courtes est Peazo (6 cm).

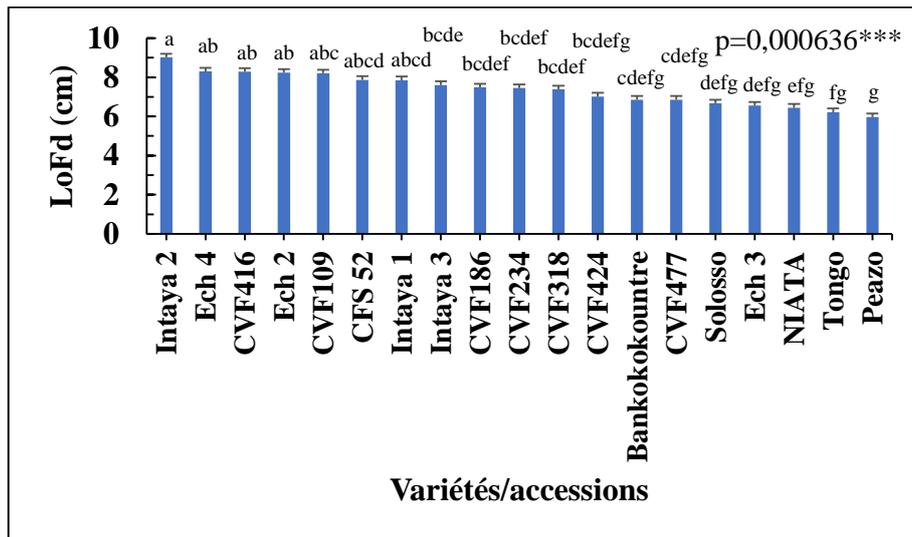


Figure 21 : Longueur des feuilles drapeaux en fonction des variétés/accessions

III.3.5 Largeur des feuilles drapeaux (LaFd)

L'analyse de la figure 22 a montré une différence hautement significative entre variétés/accessions ($p=0,008092$). Les variétés/accessions Intaya 2 (0,42 cm), Bankokokountre (0,4 cm) et Ech 2 (0,4 cm) ont des feuilles drapeaux plus larges que les autres.

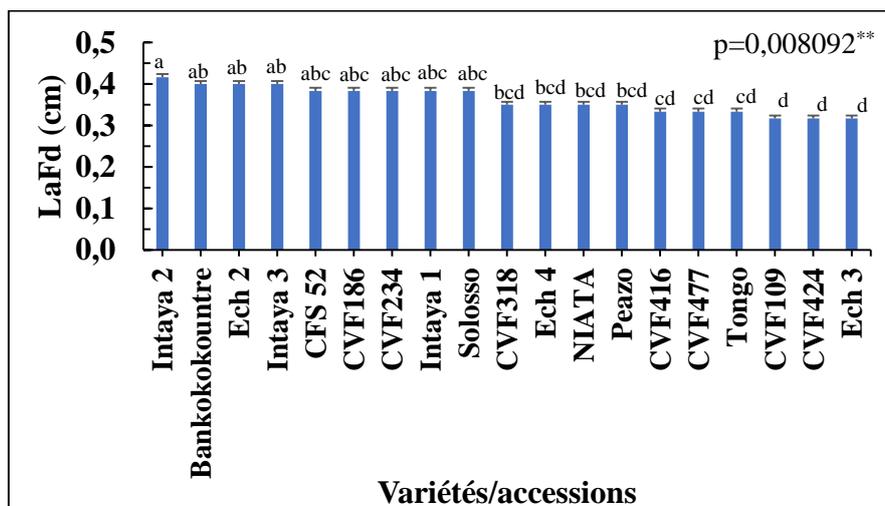


Figure 22 : Largeur des feuilles drapeaux en fonction des variétés/accessions

III.3.6 Poids des grains (PGR)

L'analyse de variance a révélé une différence très hautement significative ($p=2,00E-16^{***}$) du poids des grains entre les variétés/accessions (figure 23). Les variétés Bankokokountre (1381 g) et Tongo (1280 g) ont un poids en grains beaucoup plus importants que les autres. Par contre, les variétés/accessions CVF 477 (119 g), CVF 186 (235 g), CVF 424 (258 g) et CVF109 (296 g) ont les poids en grains les plus faible.

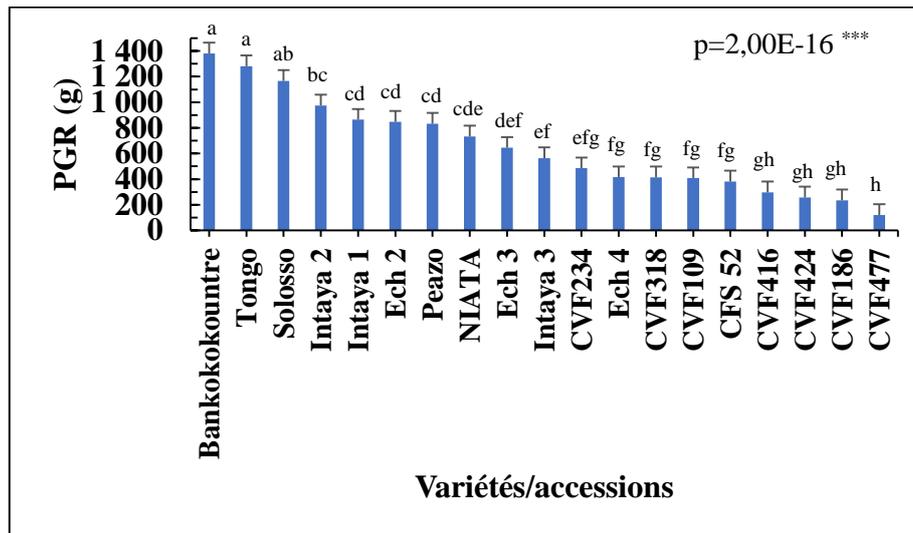


Figure 23 : Poids des grains en fonction des variétés/accessions:

III.4 Variabilité inter variétés/accessions par site

III.4.1 Date de 50% de floraison (DFL)

L'analyse de variance du caractère date 50% floraison (DFL) pour la zone de Vélingara a permis de distinguer trois groupes de variétés (figure 24) : le premier groupe (Bankokokountre, CFS 52, CVF 477, Intaya 1, Intaya 2, Intaya 3, Niata, Peazo, Solosso et Tongo) avec une date se situant entre 45 et 60 jas, correspondant aux variétés précoces ; le deuxième groupe (CVF 109, CVF 234, CVF 318, Ech 2, Ech 3, Ech 4) avec une date comprise entre 61 et 70 jas correspondant aux variétés à cycle moyen ; et le dernier groupe (CVF 186, CVF 416 et CVF 424) avec une date se situant entre 71 et 104 jas correspond aux variétés tardives.

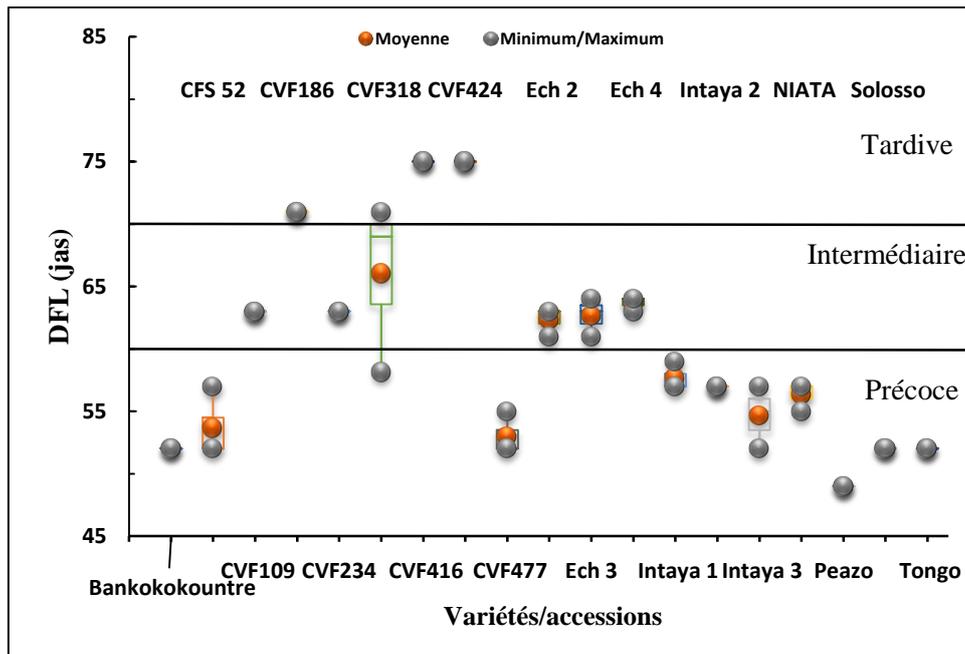


Figure 24 : Répartition des variétés/accessions en fonction de la Date 50% de floraison (Vélingara)

Concernant la zone de Nioro, l'analyse de variance permet également de distinguer trois groupes (figure 25) : le premier groupe (Bakokokountre, CFS 52, CVF 477, Ech 2, Ech 3, Intaya 1, Intaya 2, Intaya 3, Peazo, Solosso et Tongo) situé entre 45 et 60 jas, représentant les variétés précoces ; le deuxième groupe (Ech 4 et Niata) situé entre 61 et 70 jas correspond aux variétés à cycle moyen et le dernier groupe (CVF 109, CVF 186, CVF 234, CVF 318, CVF 416 et CVF 424) renfermant les variétés tardives.

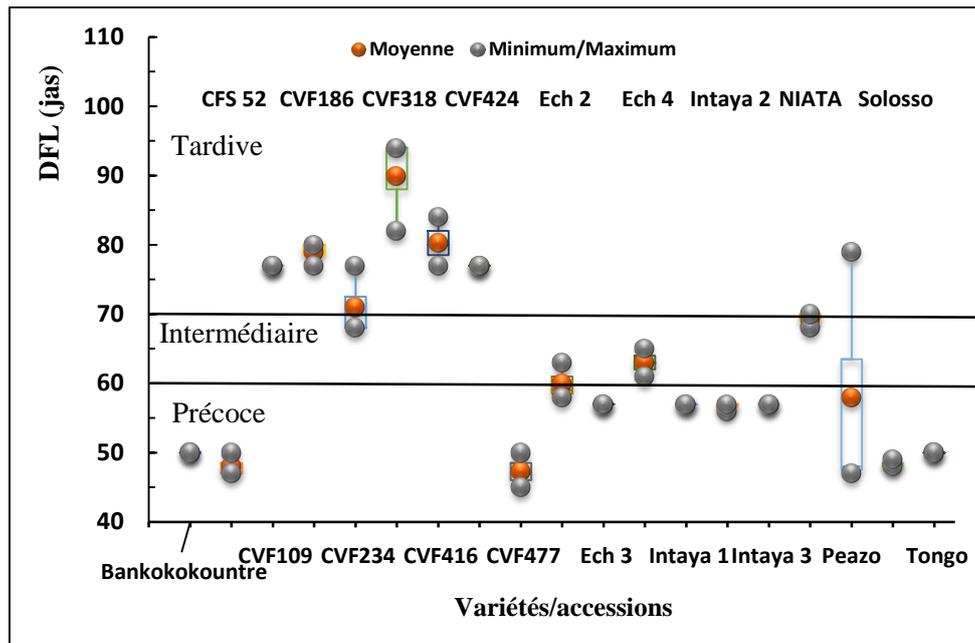


Figure 25 : Répartition des variétés/accessions en fonction de la Date 50% de floraison (Nioro)

III.4.2 Hauteur des plantes (HP)

L'analyse de variance a montré une différence très hautement significative de la hauteur des plantes entre variétés/accessions pour le site de Vélingara ($p=0,0009^{***}$) et de Nioro ($p=0,0010^{**}$), (figure 26). A Vélingara, les variétés/accessions Ech 2, CVF 109, Ech 3 ont les hauteurs les plus importantes avec 124 ; 115,3 et 114,6 cm respectivement. Les plus faibles hauteurs des plants sont enregistrées au niveau des variétés Intaya 2, Intaya 1 et Intaya 3 avec respectivement 88,3 ; 94,5 et 96,3 cm.

A Nioro, les variétés/accessions CVF 234, CVF 318 et CVF 186 ont les hauteurs les plus élevées avec 111, 106 et 105,5 cm respectivement, tandis que les variétés Peazo (73 cm), Intaya 3 (74 cm) et Solosso (79 cm) ont les plus faibles hauteurs.

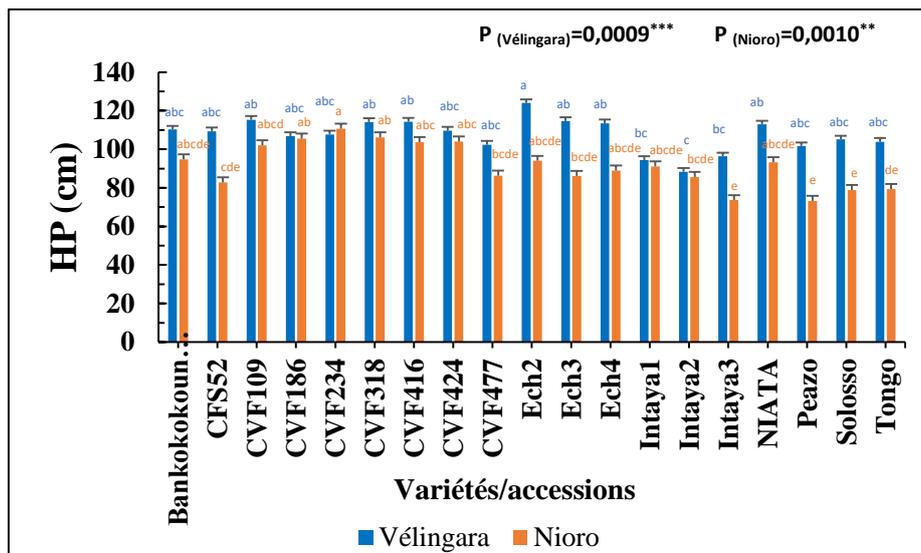


Figure 26: Hauteur des plantes en fonction des variétés/accessions selon les sites

III.4.3 Biomasse aérienne (BA)

La figure 27 représente la variabilité entre variétés/accessions en fonction de la biomasse aérienne pour les sites de Vélingara et de Nioro.

L'analyse de cette figure montre une différence très hautement significative ($p = 0,0005^{***}$) de la biomasse aérienne produite entre les variétés/accessions à Vélingara. CVF 416 (8275 g), Ech 2 (7516 g) et CVF186 (7295 g), ont les biomasses les plus importantes, tandis que les variétés/accessions CVF 109 (4380 g), Peazo (4223 g) et CVF 477 (3361 g) enregistrent les plus faibles biomasses.

Concernant le site de Nioro, la différence de biomasse produite entre les variétés/accessions est significative ($p = 0,0242^*$). En effet, les variétés/accessions Ech 2 (9483 g), Intaya 1 (8867 g), CVF 416 (8641 g) et Intaya 2 (8617 g) produisent plus de biomasse comparée aux variétés/accessions Niata (4911 g), CVF 424 (4804 g) et CFS 52 (4167 g) qui ont les plus faibles biomasses.

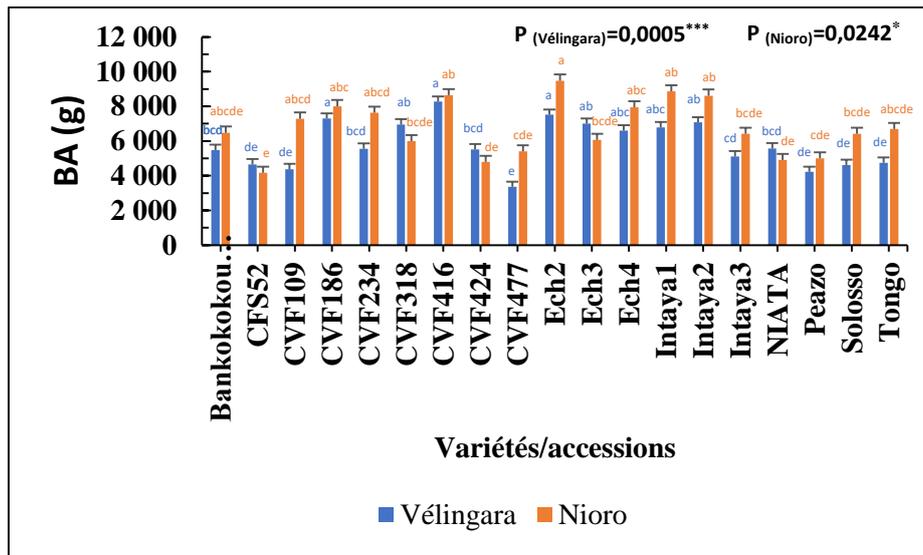


Figure 27: Biomasse aérienne produite en fonction des variétés/accessions selon les sites

III.4.4 Longueur des racèmes par panicule (LRP)

La figure 28 montre la variabilité entre variétés/accessions du caractère longueur des racèmes au niveau des sites de Vélingara et Nioro.

Au niveau du site de Vélingara, la différence de longueur des racèmes entre variétés/accessions est hautement significative ($p=0,0037^{**}$). Ech 4 (13,3 cm), CVF 416 (12,5 cm) et Ech 2 (12,3 cm) ont les racèmes plus longs. Les racèmes les plus courts sont observés avec les variétés/accessions Peazo (9,7 cm), CVF 109 (9,9 cm) et Intaya 2 (10,3 cm).

Au niveau de Nioro, la variation de la longueur des racèmes par panicule entre les variétés/accessions est très hautement significative ($p=2,694e-07^{***}$). CVF 186 (14,1 cm), Ech 2 (13,5 cm) et CVF 234 (13,4 cm) ont produit les plus longs racèmes contrairement aux variétés Peazo (10,2 cm), Tongo (10,6 cm) et Intaya 3 (10,5 cm) qui ont les racèmes par panicule les plus courts.

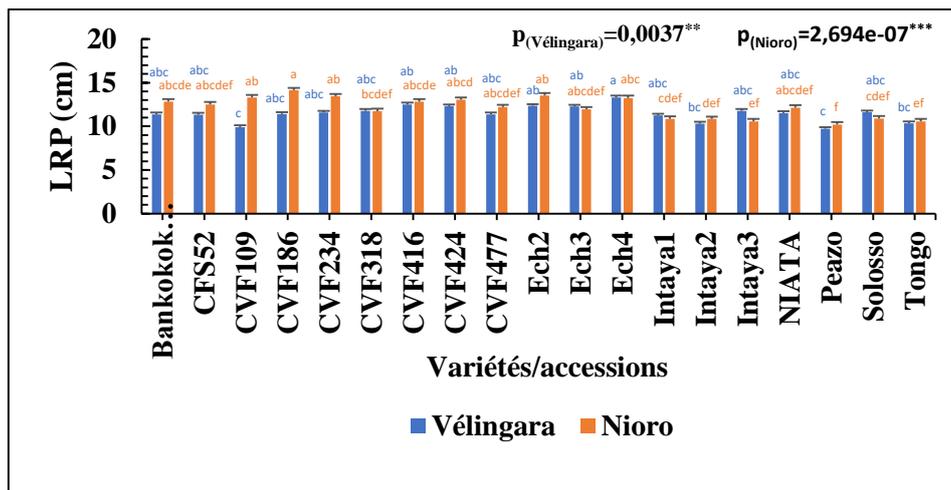


Figure 28: Longueur des racèmes en fonction des variétés/accessions suivant les sites

III.4.5 Longueur d'exertion de la panicule (EXE)

L'analyse de variance n'a révélé aucune différence significative de la longueur d'exertion ($p=0,08826$) entre variétés/accessions pour le site de Vélingara. Par contre au niveau du site de Nioro, elle a révélé une différence très hautement significative ($p=0,00043^{***}$) de ce paramètre (figure 29). Les variétés/accessions qui ont les exertions les plus longues en valeur absolue au niveau de Vélingara sont CVF109 (19,8 cm), CVF 234 (19,2 cm) et Niata (18,5 cm). Les longueurs d'exertions les plus faibles sont notées au niveau des variétés Intaya 1 (13,7 cm), Tongo (14,6 cm) et Peazo (14,7 cm).

Pour le site de Nioro, les variétés/accessions Solosso, Ech 4 et Intaya 1 ont montré les plus longues exertions avec respectivement 16,4 ; 15,8 et 15,6 cm. Les plus faibles longueurs d'exertion sont obtenues avec les variétés/accessions CVF 416 (8,5 cm), Intaya 2 (8,6 cm) et CVF 424 (9,7 cm).

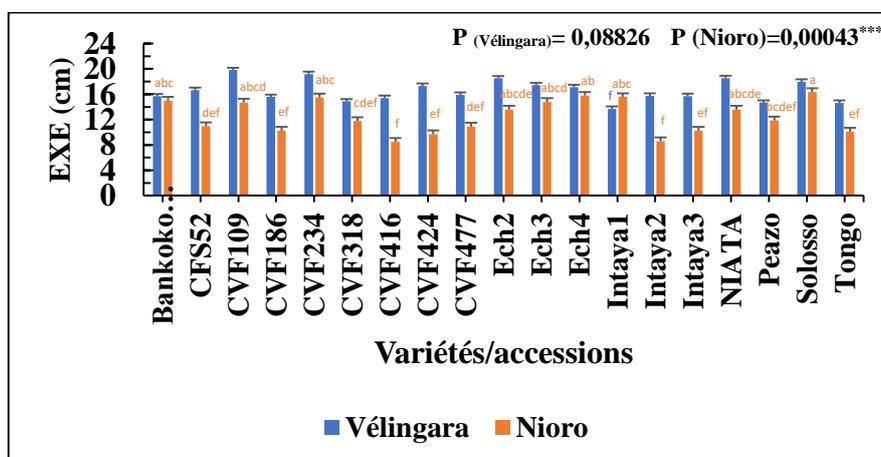


Figure 29 : Longueur d'exertion en fonction des variétés/accessions suivant les sites

III.4.6 Largeur des feuilles (LaF)

La figure 30 représente la variabilité intra variétés/accessions en fonction de la largeur des feuilles.

Au niveau de Vélingara, il est apparu une différence significative de la largeur des feuilles entre variétés/accessions ($p=0,04088^*$) et CVF 109 (0,6 cm), CVF 424 (0,6 cm) et CVF 186 (0,56 cm) présentent des feuilles les plus larges.

A Nioro, la différence de largeur des feuilles entre variétés/accessions est très hautement significative ($p=0,0004595^{***}$) et CVF 234 (0,7 cm), CVF 186 (0,66 cm) et Ech 2 (0,63 cm) présentent les plus larges feuilles. Les variétés présentant les feuilles les moins larges sont Peazo (0,4 cm), Bankokokountre (0,43 cm) et Solosso (0,46 cm).

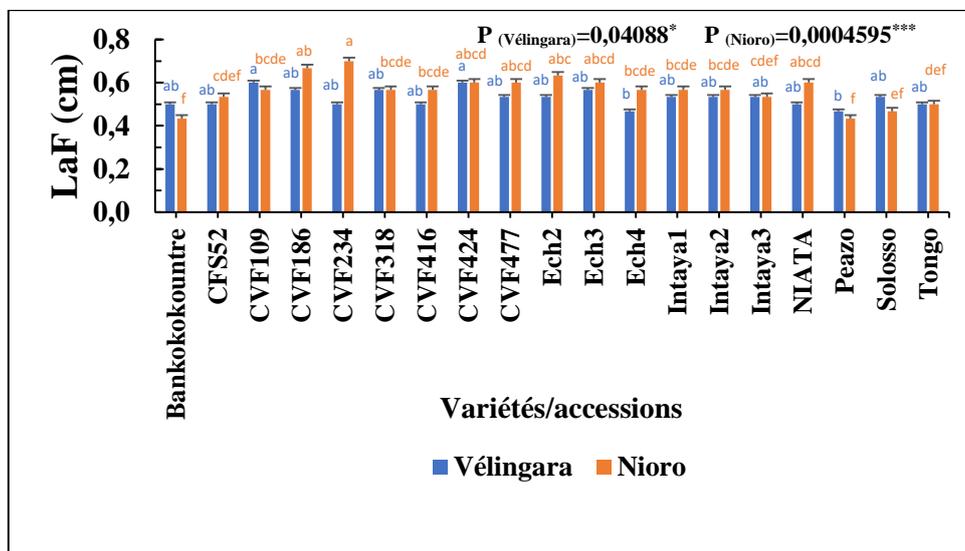


Figure 30: Largeur des feuilles en fonction des variétés/accessions selon les sites

III.5 Corrélation entre les variables quantitatives mesurés

III.5.1 Corrélation entre variables quantitatives par site

Les tableaux V et VI représentent respectivement les corrélations bilatérales entre variables pour les sites de Vélingara et Nioro.

Pour le site de Vélingara, le tableau V a montré que seules les variables DFL et BA présente une bonne corrélation avec un coefficient de corrélation de 0,58. Ce qui signifie que les variétés/accessions de fonio ayant une date 50% floraison tardive ont une biomasse aérienne élevée au niveau de ce site.

Tableau V : Matrice de corrélation des caractères mesurés au niveau du site de Vélingara

Variables	DFL	HP	BA	LRP	EXE	LaF
DFL	1					
HP	0,3685	1				
BA	0,5763	0,1542	1			
LRP	0,4081	0,4734	0,3118	1		
EXE	0,1223	0,3917	-0,0520	0,0106	1	
LaF	0,3277	0,1105	-0,0281	0,0245	0,1292	1

DFL (Date 50% floraison) ; **HP** (Hauteur des plantes) ; **BA** (Biomasse aérienne) ; **LRP** (Longueur des racèmes par panicule) ; **EXE** (Longueur d'exertion de la panicule) ; **LaF** (Largeur des feuilles)

Quant à l'analyse du tableau VI, elle a montré une bonne corrélation entre la hauteur des plantes et la date de 50% floraison ; entre la hauteur des plantes et la longueur des racèmes par plante et entre la hauteur des plantes et la largeur des feuilles avec des coefficients de corrélation respectifs de 0,62 ; 0,60 et 0,5. Ce qui signifie qu'au niveau du site de Nioro les variétés de grande taille présentent une date 50% floraison, une longueur des racèmes par plante et une largeur des feuilles importantes.

Tableau VI : Matrice de corrélation des caractères mesurés au niveau du site de Nioro

Variables	DFL	HP	BA	LRP	EXE	LaF
DFL	1					
HP	0,6252	1				
BA	0,0999	0,3247	1			
LRP	0,3787	0,6005	0,0995	1		
EXE	-0,1075	0,1395	0,0936	0,1236	1	
LaF	0,3324	0,5048	0,2219	0,4612	-0,1230	1

DFL (Date 50% floraison) ; **HP** (Hauteur des plantes) ; **BA** (Biomasse aérienne) ; **LRP** (Longueur des racèmes par panicule) ; **EXE** (Longueur d'exertion de la panicule) ; **LaF** (Largeur des feuilles)

III.5.2 Corrélation des caractères mesurés pour les deux sites confondus

Pour les deux sites confondus, l'analyse du tableau VII montre une corrélation positive ($r = 0,55$) entre la date 50% floraison et la longueur des feuilles et entre la longueur des feuilles drapeau et la largeur des feuilles drapeau ($r = 0,5$). Elle a aussi montré une corrélation inverse ($r = -0,5$) entre la date 50% floraison et le poids des grains. Ce qui signifie que d'une manière générale, les variétés ayant une date 50% floraison tardive présentent des feuilles longues et les variétés à feuilles longues présentent aussi des feuilles larges. Aussi, lorsque la date 50% floraison est tardive, le poids des grains est faible.

Tableau VII : Matrice de corrélation des caractères mesurés pour les deux sites confondus

Variables	DFM	LoF	LoFd	LaFd	PGR	NRP
DFM	1					
LoF	0,5522	1				
LoFd	0,1679	0,4383	1			
LaFd	-0,1912	0,0374	0,5025	1		
PGR	-0,5046	-0,2902	-0,0441	0,2291	1	
NRP	0,3398	0,4575	0,1659	0,0055	-0,1045	1

DFM (Date 50% de maturité) ; **LoF** (Longueur des feuilles) ; **LoFd** (Longueur des feuilles drapeaux) ; **LaFd** (Largeur des feuilles drapeaux) ; **PGR** (Poids de grains) ; **NRP** (Nombre de racème par panicule)

III.6 Classification ascendante hiérarchique (CAH) des variétés/acceptions

Le dendrogramme résultant de la classification ascendante hiérarchique pour les deux sites confondus a fait ressortir cinq classes (figure 31). La classe C1, formée par les variétés/acceptions Bankokokountre, Tongo (centre de classe) et Solosso. La classe C2, constituée par les variétés/acceptions Peazo, CFS 52 (centre de classe) et CVF 477. La classe C3 qui regroupe les variétés/acceptions CVF 109, Intaya 3 (centre de classe), CVF 424 et Niata. La classe C4, formée par les variétés/acceptions CVF 416, Ech 2, Intaya 1 (centre de classe), Intaya 2, CVF 186 et Ech 4. La dernière classe C5 est constituée par les variétés/acceptions Ech 3, CVF 234 (centre de classe) et CVF 318.

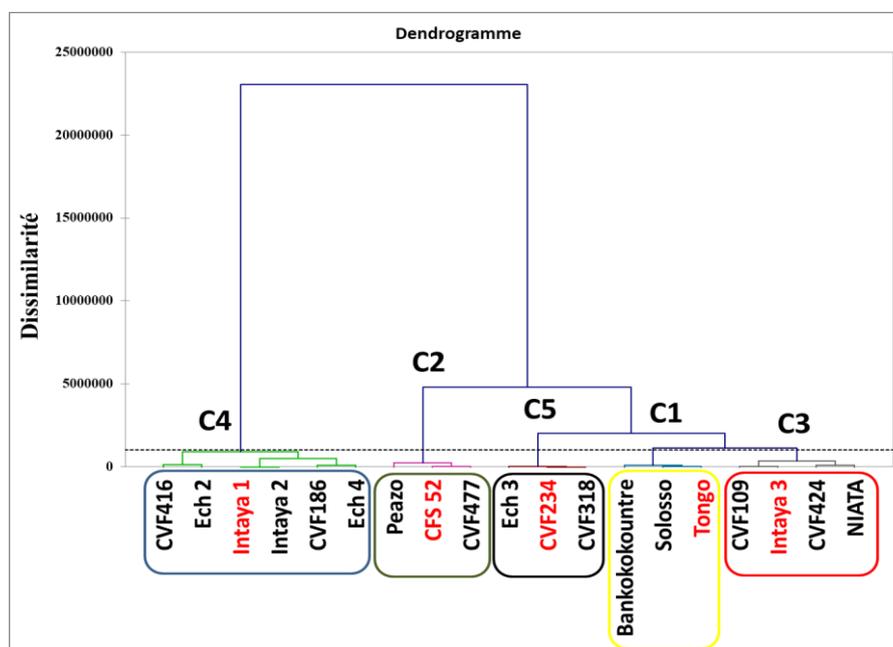


Figure 31: Dendrogramme des variétés/acceptions pour les deux sites confondus

Les résultats de l'analyse de variance sur les classes formées à partir de la classification ascendante hiérarchique ont permis de mieux les caractériser et faire ressortir les classes les plus performantes (tableau VIII).

La classe C5 regroupe les variétés/acceptions à cycle long présentant des feuilles larges et un poids de grains faible. La classe C4 est constituée par variétés/acceptions à cycle long produisant une quantité de biomasse élevée, des racèmes et feuilles longs et un poids de grains faible. La classe C3 regroupe les variétés/acceptions à cycle long présentant une quantité de biomasse et de grains faible. La classe C2 est représentée par des variétés/acceptions à cycle court, produisant une quantité de biomasse faible, des racèmes et feuilles courts, d'une largeur faible et un poids de grains faible. La classe C5 est constituée par des variétés/acceptions à cycle court, présentant des racèmes court et des feuilles moins larges, cependant produisant un poids de grains très élevés.

Tableau VIII : Caractéristiques des classes homogènes issues de la CAH

Variable	Classe C1	Classe C2	Classe C3	Classe C4	Classe C5	P-value
DFL (jas)	55,5 b	51,5 b	64,9 a	66,9 a	65,4 a	< 0,0001
DFM (jas)	72,5 b	68,3 b	88,7 a	91,6 a	89 a	< 0,0001
HP (cm)	98,7	92,6	98,3	103,6	101,6	0,1122
NRP	3	3	3	3	3	0,0680
BA (g)	5765,2 bc	4468,4 c	5390,9 c	7941,4 a	6864 ab	< 0,0001
LRP (cm)	11,4 b	11,2 b	11,8 ab	12,5 a	11,7 ab	0,0011
EXE (cm)	15,5	13,5	14,2	14,4	14,7	0,4354
LoF (cm)	8,7 ab	7,9 b	9 ab	10 a	9,5 ab	0,0068
LaF (cm)	0,51 b	0,51 b	0,56 ab	0,56 ab	0,58 a	0,0039
LoFd (cm)	7	6,9	7	8	7,6	0,0422
LaFd (cm)	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,8650
PGR (g)	1058,9 a	444,3 b	518,3 b	531,2 b	629,6 b	< 0,0001

DFL (Date 50% floraison) ; **DFM** (Date 50% de maturité) ; **HP** (Hauteur des plantes) ; **NRP** (Nombre de racème par panicule) ; **BA** (Biomasse aérienne) ; **LRP** (Longueur des racèmes par panicule) ; **EXE** (Longueur d'exertion de la panicule) ; **LoF** (Longueur des feuilles) ; **LaF** (Largeur des feuilles) ; **LoFd** (Longueur des feuilles drapeaux) ; **LaFd** (Largeur des feuilles drapeaux) ; **PGR** (Poids de grains).

III.7 Caractères discriminants des classes de variétés/acceptions

L'analyse factorielle discriminante (AFD) a été réalisée dans l'objectif de rechercher les caractères les plus discriminants par rapport aux classes formées (tableau IX). Les tests de Lambda de Wilks et de Fisher (F) ont révélé quatre caractères permettant de discriminer les groupes de variétés/acceptions. Il s'agit de la date de 50% de floraison, la date de 50% de maturité, la biomasse aérienne et le poids des grains.

Tableau IX : Significativité des paramètres quantitatifs discriminants entre les variétés/accessions

VARIABLE	LAMBDA	F	P-VALUE
DFL (jas)	0,6980	11,7909	< 0,0001***
DFM (jas)	0,6123	17,2535	< 0,0001***
HP (cm)	0,9342	1,9201	0,1122
NRP	0,9058	2,8327	0,0280
BA (g)	0,6238	16,4342	< 0,0001***
LRP (cm)	0,8470	4,9234	0,0011
EXE (cm)	0,9661	0,9548	0,4354
LoF (cm)	0,8791	3,7465	0,0068
LaF (cm)	0,8689	4,1099	0,0039
LoFd (cm)	0,9140	2,5650	0,0422
LaFd (cm)	0,9884	0,3187	0,8650
PGR (g)	0,7445	9,3523	< 0,0001***

DFL (Date 50% floraison) ; **DFM** (Date 50% de maturité) ; **HP** (Hauteur des plantes) ; **NRP** (Nombre de racème par panicule) ; **BA** (Biomasse aérienne) ; **LRP** (Longueur des racèmes par panicule) ; **EXE** (Longueur d'exertion de la panicule) ; **LoF** (Longueur des feuilles) ; **LaF** (Largeur des feuilles) ; **LoFd** (Longueur des feuilles drapeaux) ; **LaFd** (Largeur des feuilles drapeaux) ; **PGR** (Poids des grains).

IV. DISCUSSION

IV.1 Caractéristiques des variétés étudiées

IV.1.1 Caractères qualitatifs du fonio

Les caractères qualitatifs ont souvent été utilisés par les paysans pour différencier certaines variétés. Ainsi, leur prise en compte est pertinente dans une étude de caractérisation variétale. Dans le cadre de cette étude, les caractères qualitatifs pris en compte à savoir la couleur du grain (CG) et le groupement des épillets (GEP), n'ont pas permis de différencier les variétés/accessions étudiées. La couleur gris-orange a été observée sur l'ensemble des variétés/accessions utilisées et pour les deux sites, de même que pour le groupement des épillets. Autrement dit les variétés/accessions utilisées ont la même couleur de grains et présentent pour la plus part des épillets groupés par trois et par quatre. Ces résultats sont conformes à ceux de Sanni et al., (2010) et N'Da et al. (2014) qui ont travaillé respectivement sur le riz et le maïs, selon qui un bon nombre de paramètres qualitatifs retenus parmi les descripteurs ne permettent pas souvent de différencier finement les variétés de plantes cultivées. Par contre nos résultats ne sont pas en phase avec ceux de Saidou et al. (2014) qui dans le cadre d'une étude de la diversité agro-morphologique de fonio au Niger, ont mis en évidence une variabilité pour les mêmes caractères.

IV.1.2 Caractères quantitatifs

Les facteurs étudiés dans cette étude étaient le site et la variété. L'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs a permis de distinguer un effet site sur certains caractères avec une différence très hautement significative pour les caractères, hauteur des plantes, longueur des racèmes et longueur d'exertion de la panicule. Autrement dit le comportement des variétés/accessions à travers ces variables diffère entre le site de Vélingara (situé dans la zone agro-écologique de la Casamance) et de Nioro (situé dans la zone agro-écologique du bassin arachidier). Cette différence pourrait être expliquée par une influence importante des facteurs de l'environnement sur les variétés/accessions cultivées. En effet Sani et al. (2017), dans ces études sur l'effet de l'environnement sur les paramètres de croissance et de rendement des accessions du fonio au Niger, a suggéré que la variabilité observée dans certains caractères étudiés pourrait être lié principalement à la nature du sol et aux conditions climatiques. De même que Aliero et Morakinyo (2005) qui stipulent que la variation de la lumière et de la température entraîne un effet significatif sur le développement végétatif et physiologique du fonio.

L'ANOVA a permis de voir les différences de comportement des variétés/accessions entre elles et suivant les sites. Ainsi la hauteur la plus importante a été obtenue au niveau du site de Vélingara avec l'accession sénégalaise Ech 2 (124 cm). Au niveau de Nioro, la plus grande hauteur a été obtenue avec l'accession Burkinabaise CVF 234 (111cm). Les racèmes des plantes sont plus longs au niveau du site de Nioro avec les accessions CVF 186 (14,1cm), Ech 2 (13,5 cm) et CVF 234 (13,4 cm) comparés au site de Vélingara avec Ech 4 (13,3 cm), CVF 416 (12,5 cm) et Ech 2 (12,3 cm). Concernant la longueur d'exertion de la panicule, elle est plus importante au niveau de Vélingara avec les variétés/accessions CVF 109 (19,8 cm), CVF 234 (19,2 cm) et Niata (18,5 cm). Au niveau du site de Nioro, Solosso, Ech 4 et Intaya 1 ont eu les plus longues exertions avec 16,4 ; 15,8 et 15,6 cm respectivement.

De façon générale, les différences de comportement variétal entre sites ont été notées surtout, avec les caractères liés à la croissance de la plante ; laquelle est un paramètre effectivement régi par la fertilité des sols mais aussi la disponibilité en eau.

L'analyse de variance sur les variables n'ayant pas été influencées par le facteur site a permis de relever des différences inter variétés/accessions. Ainsi les variétés les plus précoces telles que Peazo (65jas), Bankokountre (67jas), Solosso (64jas) et Tongo (70jas) qui sont aussi de provenance malienne, ont un poids en grains plus élevé que celles tardives. En effet Ouédraogo et al. (2008) ont avancé qu'au Burkina-Faso, les variétés/accessions tardives donnaient les plus faibles rendements en grains par rapport aux précoces de même que Saidou et al., (2014) qui a affirmé que les accessions précoces dont la durée du cycle est inférieure ou égale à 90 JAS donnent les meilleurs rendements en grains comparées aux accessions tardives à cycle supérieur à 90 JAS. Ces résultats pourraient s'expliquer par deux phénomènes : l'égrenage et la pluviométrie. Le premier est un phénomène naturel chez le fonio dont les grains tombent à maturité. Ainsi, chez les variétés tardives dont le cycle reproductif est plus long, l'égrenage a été plus intense. Durant la conduite de l'essai, ces variétés/accessions avaient effectivement un égrenage poussé constaté *de visu*.

Le second phénomène explicatif est le fait qu'avant la fin du cycle des variétés tardives, les pluies ont arrêté ou grandement diminué (fin de la saison des pluies) ; impactant sur la production ou le remplissage des grains. En effet, la phase de pleine floraison des variétés/accessions tardives a coïncidé avec la fin de la saison pluvieuse. De même Do et al., (2020) ont affirmé dans leur étude que les cultivars trop tardifs n'arrivent pas à boucler favorablement leur cycle quand la pluviométrie est très déficitaire.

IV.2 Corrélation entre les caractères quantitatifs étudiés

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les variables discriminantes entre sites a fait ressortir de fortes corrélations. Ainsi au niveau de Vélingara, la corrélation positive la plus importante a été obtenue entre la biomasse aérienne et la date de 50% de floraison (0,58). Cette dernière est positivement corrélée à la hauteur de la plante (0,62) pour le site de Nioro et aussi avec le nombre de racèmes par plante (58,68%). Ces différences de corrélation observées entre les sites pourraient être expliquées par un effet site sur ces variables

En récapitulatif, les variétés/accessions tardives ont eu une croissance plus importante que celles précoces. Ce qui se traduit par une biomasse aérienne plus importante pour le site de Vélingara et une hauteur plus élevée pour le site de Nioro. Cette importante croissance observée chez les variétés/accessions tardives pourrait s'expliquer par le fait que ces dernières, du fait de leur cycle tardif, ont pu assimiler plus de nutriments afin de produire plus de matière organique par le biais de la photosynthèse, comparé aux variétés/accessions précoces (Penning, 1982). Ces résultats corroborent ceux de Sekloka et al. (2016) qui ont observé plus de feuilles (biomasse aérienne) et une hauteur plus importante chez les variétés/accessions de fonio tardives, de même que Siene, Muller et Séverin, (2010) chez le mil.

Concernant les variables n'ayant pas été influencées par le facteur site, l'ACP a permis aussi de relever des corrélations significatives. En effet la date de 50% de maturité et la longueur des feuilles sont fortement liées et positivement (55,22%) en d'autres termes, les variétés/accessions tardives présentent des feuilles plus longues que les précoces. Cependant la date de 50% maturité est corrélée négativement avec le poids des grains. Ce résultat est conforme à celui de l'ANOVA qui montre un poids de grains plus faible chez les cycles tardifs et qui s'expliquerait par les phénomènes d'égrenage et de faible ou arrêt des pluies.

IV.3 Classification des variétés/accessions en fonction des caractères quantitatifs

Le dendrogramme réalisé à partir des moyennes des variables quantitatives, sur les deux sites confondus, basé sur la distance euclidienne a permis d'identifier cinq classes. L'analyse de variance effectuée sur la base des classes formées et l'analyse factorielle discriminante ont permis de caractériser les groupes sur la base de quatre variables discriminants relatifs au cycle de floraison et maturité, à la biomasse aérienne et à la production de grains. Ces résultats corroborent ceux de Niang (2016), Sekloka et al., (2016) et Do et al., (2020), qui ont montré que le cycle de floraison et de maturité, la biomasse aérienne et le poids des grains font partie des caractères importants pour discriminer certaines variétés/accessions de fonio.

Ainsi, la classe C3 (CVF 109, Intaya 3, CVF 424 et Niata) regroupe les variétés/accessions à cycle long produisant une quantité de grain faible. Les classes C4 (CVF 416, Ech 2, Intaya 1, Intaya 2, CVF 186 et Ech 4) et C5 (Ech 3, CVF 234 et CVF 318) regroupent les variétés/accessions à cycle long produisant une quantité de biomasse élevée et une quantité de grains faible. Les classes C1 (Bankokokountre, Tongo et Solosso) et C2 (Peazo, CFS 52 et CVF 477) sont constituées par les variétés/accessions à cycle court. Par contre la classe C1 a un poids en grains beaucoup plus importantes que les autres. Ces résultats, dans le même sens que l'ANOVA et l'ACP, montrent la corrélation forte et négative mise en exergue tout au long des analyses, en l'occurrence, longueur du cycle et production de grains plus faible et qui s'expliquerait par l'égrenage et/ou l'arrêt des pluies.

Par ailleurs, les résultats de la classification ont permis aussi de relever un aspect très important sur le regroupement des variétés/accessions. En effet à part les variétés d'origine malienne, l'origine géographique n'a pas d'effet sur le comportement de ces dernières.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

La présente étude qui porte sur la caractérisation agro-morphologique de variétés/accessions de fonio issues du Sénégal, du Mali, du Burkina et du Niger, dans différentes zones agro-écologiques du pays, a permis d'identifier une différence de comportement de ces variétés/accessions pour les caractères hauteur des plantes, longueur des racèmes et longueur d'exertion entre les deux sites. Les résultats nous ont permis aussi d'identifier un groupe de variétés/accessions qui semblent bien s'adapter aux conditions du pays. Ces dernières sont entre autres les variétés/accessions précoces et très productives, d'origine malienne (Bankokokountre, Solosso et Tongo), et les variétés/accessions tardives Ech 3 (origine sénégalaise), CVF 234 (origine burkinabaise) et CVF 318 (origine burkinabaise) avec une production moyenne. Sur les deux sites d'études, les variétés/accessions qui paraissent être les plus performantes sont les variétés Bankokokountre et Tongo. Par ailleurs cette étude a permis aussi d'identifier quatre caractères importants pour différencier les variétés/accessions. Ces caractères sont le cycle de floraison et de maturité, la biomasse aérienne et le poids des grains qui sont très prometteurs comme attributs du fonio.

Cette étude d'un pool sous régional de variétés/accessions de fonio a permis de contribuer à une meilleure connaissance des comportements des variétés/accessions dans deux zones agro-écologiques du Sénégal. Elle a permis aussi d'identifier un certain nombre de caractères permettant de différencier les variétés/accessions concernées.

Toutefois il serait intéressant de reconduire l'essai dans les mêmes zones agro-écologiques et aussi dans d'autres afin de vérifier les résultats obtenus. Il serait aussi judicieux de tester les génotypes performants en milieu paysan afin de les confronter aux systèmes de culture des producteurs et déterminer leurs performances, de façon plus précise.

Concernant les variétés/accessions tardives, il serait judicieux de les tester dans des conditions de pluviométrie plus favorables dans le but de mieux connaître leur performance réelle. Il serait aussi utile de déterminer les dates de maturité physiologique et de faire les récoltes à ces dates afin d'éviter les pertes dues à l'égrenage. Par ailleurs, les caractères discriminants relevés dans l'étude pourront éventuellement contribuer à la mise en place d'un descripteur pour le fonio.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adoukonou S. H., Schubert V., Dansi A., Jovtchev G., Meister A., Pistrick K., Akpagana K et Friedt W. (2007).** « Flow cytometric analysis reveals different nuclear DNA contents in cultivated Fonio (*Digitaria spp.*) and some wild relatives from West-Africa » 267: 163-76.
- Adoukonou S. H, Wagner C, Ordon F et Friedt W. (2010).** « Reproductive system and molecular phylogenetic relationships of fonio millets (*Digitaria spp.*, Poaceae) with some polyploidy wild relatives ». *Tropical Plant Biology* 3: 240-51.
- Affokpe C. (2015).** « Le fonio, une céréale africaine de demain » - *IED Afrique* (Innovations Environnement Développement). <https://www.iedafrique.org/Le-fonio-une-cereale-africaine-de-demain.html>.
- Aliero A. A et Morakinyo J. A. (2005).** « Photoperiodism in *Digitaria exilis* ». *African Journal of Agriculture Research* Vol 4, 241-2443.
- Andrieu N., Vall E., Blanchard M., Béavogui F. et Sogodogo D. (2015).** « Le fonio : une culture climato intelligente ? » *Agronomie, Environnement et Sociétés*. <https://agritrop.cirad.fr/580246/>.
- Anonyme. (2018).** « Crop descriptors and derived standards ». Bioversity International <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/descriptors/>.
- ANSD. (2008).** « Situation économique et sociale de la région de kaolack 2008 ». https://www.ansd.sn/ressources/ses/SES_Kaolack_2008.pdf.
- Appia B. (1965).** « Les forgerons du Fouta-Djallon. » *Journal de la Société des Africanistes* 35 (2): 317-52.
- Banque mondiale. (2019).** « Agriculture et alimentation ». World Bank. 2019. <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/agriculture/overview>.
- BCEPA. (2013).** «Analyse diagnostic de la filière fonio en guinée». 74p
- Camara S. (2015).** « Le Gnokholo traditionnel: Géographie-Histoire-Culture-Économie: monographie d'une ancienne province du Sénégal ». *CODESRIA*, Dakar, Sénégal, 240p
- Cruz J. F., Famoï B et Dramé D. (2011).** «Le fonio, une céréale africaine». Collection : Agricultures tropicales en poche. Editions. Quae / Cta / Presses agronomiques de Gembloux. Versailles, France. 175 p.
- Cruz J. F., Drame D., Diallo T. A et Gouyahali S. (2004).** « Amélioration des technologies post-récolte du fonio : rapport annuel (juillet 2002 à décembre 2003) ». Monograph. CIRAD-CA. Mali. 2004. <https://agritrop.cirad.fr/519087/>.
- Dambrine M. (2020).** « Le fonio, une céréale sans gluten qui regorge de bienfaits ». Marie Claire. <https://www.marieclaire.fr/fonio-cereale-bienfaits-sante,1358752.asp>.
- Diop B. M. (2018).** « Pratiques paysannes et dynamiques de la diversité génétique : le fonio (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf) chez les peuples du sud du Sénégal ». Thèse de doctorat d'État, Dakar: Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 182p.
- Do A. M., N'DA H. A., Akanvou L., et Sokoui D. P. (2020).** « Caractérisation agromorphologique des accessions de fonio (*Digitaria exilis*) collectées au nord de la Côte d'Ivoire. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/199634>, 182p.

- Dupuis B., Stilmant D et Forest F. (2007).** « Etude bibliographique : Inventaire des connaissances en termes de variétés cultivées en Guinée, au Mali et au Burkina Faso et inventaire des connaissances en termes de systèmes de culture incluant la production de fonio dans ces trois pays », février, 45p.
- FAOSTAT. (2019a).** « Production de fonio au Sénégal ». Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2019. <http://www.fao.org/faostat/fr/#compare>.
- FAOSTAT. (2019b).** « Principaux pays producteurs de fonio en Afrique ». Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2019. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>.
- Fernie A.R et Yan J. (2019).** « De novo domestication: An alternative way towards new crops for the future. *Molecular Plant* ». *Molecular Plant* 12: 615-31.
- Fofana A., et Fall C. A. (2004).** « Problématique de la production du fonio au Sénégal. » Communication présentée à la Journée Nationale du FONIO, 7 décembre 2004 à Dakar (Sénégal). Document ISRA, 2004, 8p.
- Fofana A., Guèye M., Kanfany G., Tall H., et Djiba S. (2017).** « Fiche technique du fonio ».
- Froment D. et Renard C. (2001).** « Fonio. In : Raemaekers R.H. » Ed. Bruxelles, Belgique *Agriculture en Afrique tropicale*. In , 37-43..
- Gueye M. (2016).** « Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf, Poaceae) au Sénégal ». Thèse de doctorat en Biologie, Physiologie et Productions Végétales. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 101 pages + Annexes.
- Hugues N., Akanvou L., Akanvou R., et BI A. (2014).** « Evaluation de la diversité agromorphologique des accessions de maïs (*Zea mays* L.) Collectées en Côte d'Ivoire. » *Journal of Animal & Plant Sciences* Volume 20 (février): 3144-58.
- Ingrid H. (2020).** « Les bienfaits du fonio ». *Doctissimo*, juin 2020. www.doctissimo.com.
- Kanfany G. 2009.** « Effets de la fertilisation organo minérale sur la croissance et le rendement du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) en Casamance et au Sénégal Oriental ». Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Agronomie et Protection des cultures. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès (Sénégal), 45p.
- Konate M. B., Manga A. A., et Yorombé K. (2021).** « Diagnostic de la culture d'une céréale mythique indigène du mali : le fonio (*Digitaria exilis* stapf) ». *Journal of Animal & Plant Sciences* 47 (1): 8350-8357: 8.
- Lestrangé M. D. (1955).** « Les Coniagui et les Bassari: (Guinée française) ». *Institut International Africain. Monographies ethnologiques africaines*, 978-2-296-00449-8, 83p.
- Lo M. (2003).** « La culture du fonio en Casamance : réalités et perspectives ». In Actes du Premier Atelier sur la Diversité Génétique du Fonio (*Digitaria exilis*) en Afrique de l'Ouest, Conakry, Guinée, du 04 au 06 août 1998, Vodouhe SR, Zannou A, Achigan Dako Ed. *Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI)* Rome (Italie): 23-25.
- Niang J. M. (2016).** « Etude de la diversité phénotypique et génotypique du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) au Sénégal ». Mémoire Master, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 74p.

- Ouédraogo M., Ouédraogo J. T., Tignéré J. B., Balma D., Dabiré C. B., et Konaté G. (2008).** « Characterization and evaluations of accessions of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt) from Burkina Faso ». *Sciences et Nature* 5(2), 191-197p.
- Painting K. A., Perry M. C., Denning R. A., et Ayad W. G. (1993).** « Guide de Documentation des Ressources Génétiques ». *Bioversity International*. (http://pdf.dec.org/pdf_docs/Pnach898.pdf).
- Penning D. V. T. (1982).** « Le potentiel physiologique des pâturages et des cultures agricoles ». <http://edepot.wur.nl/172374>.
- Portères R. (1955).** « Les Céréales mineures du genre *Digitaria* en Afrique et en Europe ». *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée* 2 (7): 349-86. <https://doi.org/10.3406/jatba.1955.2235>.
- Sagna P. (2005).** « Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l'Afrique occidentale ». Thèse de doctorat d'État, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 270p.
- Saidou S. I., Bakasso Y., Inoussa M. M., Zaman-Allah M., Atta S., Barnaud A., Billot C., et Saadou M. (2014).** « Diversité Agro-Morphologique Des Accessions de Fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] Au Niger ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8 (4): 1710-29. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.31>.
- Sani S. I., Inoussa M. M., Zaman-Allah M., Atta S., Barnaud A., Billot C., Bakasso Y., Mahamane A., et Mahamane S. (2017).** « Effet de l'environnement sur les paramètres de croissance et de rendement des accessions du fonio [*Digitaria exilis* (KIPPIST.) STAPF.] AU NIGER ». *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 29, juin, 87-106.
- Santens P. (1980).** « Agriculture spéciale, Fascicule n°13 : Sésame, Voandzou et Fonio ». Document pédagogique. *Institut Pratique Développement Rural de Kolo, Niger*, 1980, 20p.
- Sekloka E., Kanlindogbe C., Biauou S. S. H., Adoukonou-Sagbadja H., Kora A., Motouama F. T., Seidou M., Zinsou V. A., Afouda L., et Baba-Moussa L. (2016).** « Agro-Morphological Characterization of Fonio Millet Accessions (*Digitaria exilis* Stapf.) Collected from Boukoumb, Northwest of Benin ». *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 8 (10): 211-22. <https://doi.org/10.5897/JPBCS2016.0605>.
- Siene L., Casimir A., Muller B., et Séverin A. (2010).** « Etude du développement et de la répartition de la biomasse chez deux variétés de mil de longueur de cycle différente sous trois densités de semis ». *Journal of Applied Biosciences* 35: 2260-2278p.
- Tena G. (2019).** « Séquençage des cultures oubliées ». *Nature Plants* 5 (5). Google Scholar.
- USAID. (2008).** « Chaîne de valeur fonio senegal ». *International Resources Group*, septembre 2008. www.irgltd.com.
- Vodouhe S. R., Zannou A., et Achigan D. E. (2003).** « Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (*Digitaria exilis* Stapf.) en Afrique de l'Ouest, Conakry, Guinée, 4-6 août 1998 ». *Institut International des Ressources Phytogénétiques*. Rome, Italy. 81p.
- Vodouhè S. R et Achigan D. E. (2006).** « *Digitaria exilis* (Kippist) Stapf. In : M. Brink and G. Belay » (Eds). *PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale)*, Wageningen Netherlands. [https://uses.plantnetproject.org/en/Digitaria_exilis_\(PROTA\)](https://uses.plantnetproject.org/en/Digitaria_exilis_(PROTA)).

Wooten S. (2003). « Interactions du genre, de la biodiversité agricole et des savoirs locaux au service de la sécurité alimentaire » - Manuel de formation. 2003.
<https://www.fao.org/3/y5956f/y5956f10.htm>.

Zubiria L. (2016). « Le fonio : comment le cuisiner ? Quels bienfaits ? »
https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=fonio_nu.