



Étude de la variabilité des caractères agro-morphologique d'accessions de riz en condition de toxicité ferreuse

Abdourasmane K. KONATE¹, Issa WONNI¹, Adama ZONGO^{3(*)}, Soumana KONE^{1; 2} et Mahamadou SAWADOGO²

1 : Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) ,01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso ;

2 : Université Joseph Ki Zerbo, École Doctorale Sciences et technologies, Laboratoire Biosciences, Équipe Génétique et Amélioration des Plantes (EGAP), Ouagadougou, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

3 : Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou, BP 176 Dédougou, Burkina Faso.

(*) Auteur correspondant : zongoadama87@gmail.com

Submitted on 22nd November 2021. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 31st January 2022
<https://doi.org/10.35759/JABs.169.6>

RÉSUMÉ

Objectif : De nombreuses contraintes dont la toxicité ferreuse limite la production du riz au Burkina Faso. L'objectif de cette était d'évaluer les performances des accessions en condition de toxicité ferreuse.

Méthodologie et résultats : Un essai a été mis en place à la Vallée du Kou selon un dispositif Alpha Latice en 03 répétitions. Les évaluations sur la toxicité ferreuse ont été effectuées sur la base de l'échelle proposée par International Rice Research Institute (IRRI). Treize caractères quantitatifs ont été évalués. Il ressort que la toxicité ferreuse sur les plantes devient sévère, au fur à mesure que nous évoluons selon les stades de développement des plants. Les moyennes ont varié de 0 ; 3 et 5 respectivement au 20 ; 40 et 60^{ème} jours après repiquage. Les accessions Jamir et Tog 5681 et les variétés FKR 84, et FKR62N ont montré des symptômes résistance à la toxicité ferreuse par contre Hokkai 188, M202 et IR64 ont été sensibles. L'analyse de variance a montré que tous les caractères discriminaient les accessions évaluées. La valeur d'héritabilité la plus faible est obtenue avec le caractère longueur de la panicule et la plus élevé est enregistré avec le caractère longueur des grains. Les coefficients de variation ont également varié d'un caractère à un autre. L'analyse des corrélations bivariées de Pearson entre les caractères quantitatifs a révélé l'existence des corrélations positives et très hautement significative entre le nombre de talles et le nombre de panicules. L'analyse à composante principale a montré que la hauteur des plantes, les cycles semi-épiaison et maturité, la longueur et largeur de la feuille paniculaire, le poids de panicules et le rendement sont corrélés à l'axe de la productivité (F1) avec 32,10 % de la variabilité. La Classification ascendante hiérarchique a subdivisé les accessions en 03 groupes. Les individus du groupe 1 se sont bien illustrés avec un rendement de l'ordre de 4000kg/ha.

Conclusion et application des résultats : les génotypes tolérant à savoir FKR 84, et FKR62N identifiés lors cette étude peut être vulgarisée dans les basfonds rizicole ou la toxicité ferreuse

constitue une contrainte majeure. En outre les résultats relatifs à la variabilité génétique obtenus pourront être exploités pour orienter les activités de sélection pour la tolérance à la toxicité ferreuse.

Mots clés : Toxicité ferreuse ; variabilité agromorphologique ; riz ; résistance ; sensible

Study of agro-morphological traits variability of rice accessions under iron toxicity conditions

ABSTRACT

Objective : Numerous constraints, including iron toxicity, limit rice production in Burkina Faso. The objective of this was to evaluate the performance of accessions in conditions of iron toxicity.

Methodology and results: A test was carry out at the Kou Valley using an Alpha Lattice device in 03 repetitions. The iron toxicity assessments were carried out on the basis of the scale proposed by International Rice Research Institute (IRRI). Thirteen quantitative traits were evaluated. It appears that the iron toxicity on plants becomes severe, as we evolve according to the stages of development of the plants. The means varied from 0; 3 and 5 respectively to 20; 40 and 60 th days after transplanting. The accessions Jamir and Tog 5681 and the varieties FKR 84, and FKR62N showed symptoms resistance to iron toxicity on the other hand Hokkai 188, M202 and IR64 were sensitive. Analysis of variance showed that all traits discriminated against the accessions evaluated. The lowest heritability value is obtained with the panicle length trait and the highest is recorded with the kernel length trait. The coefficients of variation also varied from character to character. Analysis of Pearson's bivariate correlations between quantitative traits revealed the existence of positive and very highly significant correlations between tiller number and panicle number. Principal component analysis showed that plant height, semi-heading and maturity cycles, panicle leaf length and width, panicle weight and yield correlate with the productivity axis (F1) with 32.10% of the variability. The Ascending Hierarchical Classification subdivided the accessions into 03 groups. The individuals in group 1 performed well with a yield of around 4000kg / ha.

Conclusion and application of results: The tolerant genotypes FKR 84 and FKR62N identified could be released in lowland rice fields where iron toxicity is a major constraint. In addition, the results on genetic variability can be used to guide breeding activities for iron toxicity tolerance.

Keywords : Iron toxicity; agromorphological variability; rice; resistance; sensitive

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'agriculture est l'un des principaux secteurs productifs de l'économie. C'est une agriculture de subsistance dominée par des petites exploitations familiales (SNDR, 2020). Elle occupe plus de 86 % de la population active, contribue à près de 33% du produit intérieur brut et assure plus de 85 % des recettes d'exportation (SNDR, 2020). Les principales spéculations cultivées, sont les cultures vivrières, dominées par les céréales (sorgho, mil, maïs et riz), qui constituent la base de l'alimentation des populations. Parmi

ces céréales, le riz occupe la quatrième place tant du point de vue de la superficie que de la production (FAO, 2015). Sa production a connu une hausse, en passant de 113 724 tonnes en 2006 à 451 420 tonnes en 2020 (SNDR, 2020). Malgré cet accroissement, le riz reste la première céréale d'importation du pays et occasionne de ce fait d'importante sorties de devises pouvant atteindre 400 milliards de FCFA (FAOstat, 2018). Cette situation aggrave la dépendance du pays vis-à-vis du marché mondial aussi bien en termes de

souveraineté alimentaire qu'en termes de déficit de la balance commerciale. Malgré le fort potentiel en bas-fond aménageables et terres irrigables, en dépit de l'accompagnement de l'État, la filière riz est confrontée à d'énormes contraintes biotiques et abiotiques qui impactent le rendement potentiel des variétés développées. Parmi les contraintes abiotiques majeures, on peut citer la pyriculariose, les bactérioses, la panachure jaune du riz, les nématodes parasites et les mauvaises herbes (Traore *et al.*, 2009 ; Sérémé *et al.*, 2014 ; Wonni *et al.*, 2014 ; Kassankogno *et al.*, 2016 ; Thio *et al.* ; 2017, Sanou, 2019). Quant aux contraintes abiotiques, il s'agit de la sécheresse, le froid, la salinité et la toxicité ferreuse (Konaté, 2017). Le dernier est connu comme le désordre nutritionnel le plus répandu et le plus sévère limitant le rendement de la riziculture Ouest africaine (Audebert, 2006). En effet au Burkina Faso, les bas-fonds et les périmètres irrigués occupent 91% des superficies rizicoles et assurent 95% de la production nationale. Malheureusement ces aires de productions sont souvent confrontées aux contraintes de la toxicité ferreuse. Elle est une condition provoquée par la réduction microbienne en conditions d'inondation de l'oxyde ferrique insoluble en oxyde ferreux soluble qui peut être absorbé par les plants de riz en quantités excessives. Selon ADRAO, (2002) en Afrique de l'Ouest jusqu'à 60% des zones de bas-fonds rizicoles sont exposées au risque de toxicité ferreuse. Or, au Burkina Faso les bas-fonds occupent 67% des surfaces

rizicoles. De ce fait le pays se trouve confronté à cette contrainte d'ordre abiotique (INERA, 2010). Des baisses considérables de rendement du riz sont observées en 2009 sur les périmètres irrigués et les bas-fonds de l'Ouest du Burkina Faso pour cause de toxicité ferreuse (Bongou, 2009). Ces pertes de rendement occasionnées varient entre 12 à 100% selon la sensibilité des variétés (Koné, 2010). Par ailleurs, la toxicité ferreuse entraîne l'abandon d'importantes superficies, qui sont pourtant favorables à la riziculture sur le plan climatique et hydrique, cela porte un coup sévère à l'économie burkinabè, voire africaine (Koné, 2010). De plus Traoré (2016) estime que la plupart des variétés élitaires vulgarisées en milieux paysans sont sensibles à la toxicité ferreuse. En vue de lutter contre la toxicité ferreuse, plusieurs approches ont été envisagées. Mais la seule qui peut être durable et économiquement viable pour les paysans, en général à faible revenu, semble être l'amélioration variétale. L'utilisation de variétés tolérantes est sans doute la méthode la plus appropriée à la situation socio-économique de la plupart des producteurs (Gnogo *et al.*, 2017). Ainsi plusieurs travaux de sélection et de diffusion de variétés tolérantes à la toxicité ferreuse sont menés par des centres de recherches en Afrique de l'Ouest (Sikirou *et al.*, 2015). C'est dans ce sens que soixante (63) accessions de riz ont été testées sur le périmètre irriguée à la Vallée du Kou afin d'évaluer leur comportement à la toxicité ferreuse.

MATERIEL ET METHODES

Site d'expérimentation : L'étude a été conduite sur le périmètre rizicole irrigué de la vallée de Kou. Il est situé à l'Ouest du Burkina Faso, à 30 km au Nord-Ouest de la ville de Bobo-Dioulasso dans la commune rurale de Bama, route nationale numéro 9. Les coordonnées géographiques sont précisément 4°22' de longitude Ouest, 11°22' de latitude Nord et une altitude de 300 m. Le climat de la

Vallée du Kou est de type sud-soudanien. La pluviométrie est très variable et la moyenne annuelle oscille autour de 950 mm. Les températures varient de 17°C à 37°C en saison sèche et de 20 °C à 32 °C en saison humide. Sa végétation est de type savane arbustive et arboré. Selon Guinko (1984), les formations végétales de la strate boisée se composent essentiellement d'essences telles que *Parkia*

biglobosa, *Detarium microcarpum*, *Sclérocaria birrea*, *Vitellaria paradoxa*. Les sols des périmètres rizicoles de la Vallée du Kou sont de type hydromorphes minéraux à pseudogley sur matériaux à texture variée. Les analyses de sol effectuées par Konaté (2012) et Traoré (2016) ont permis de montrer que le site à la Vallée du Kou est toxique en fer et les valeurs obtenues varient de 14400 à 15675 mg/kg respectivement au niveau des horizons 0 - 20 à 20 - 40 cm. Selon Yamauchi, (1989), les symptômes apparaissent sur les plantes de riz sensibles lorsque les concentrations en fer dans la solution du sol atteignent 700 mg/kg. Pour Dorlodot *et al.*, (2005), les symptômes sont remarqués lorsque dans la solution du sol, la concentration a atteint 500mg/l.

Matériel végétal : Le matériel végétal est constitué de 63 accessions. Parmi ces accessions, 16 proviennent de la banque de gène de INERA, dans lesquelles il y'a huit (08) variétés de riz homologués utilisées comme témoins. Ces témoins ont été choisis pour leurs caractéristiques agronomiques et leurs comportements à la toxicité ferreuse déjà connus. Ils ont été évalués sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou et les bas-fonds aménagés de Niéna et Dionkélé respectivement par Konaté (2012), Traoré (2016) et Bagayogo (2011). Les 46 accessions restantes proviennent de la banque de gène de IRRI (Institut Internationale de Recherche sur le Riz) en Philippines. Les listes des accessions sont regroupées les Tableau 1 et 2.

Tableau 1 : Liste des variétés témoins

Variétés témoins	Cycles Semi-maturité (jours)	Rendements (t/ha)	Comportement à la toxicité ferreuse
FKR64	120	8 - 10	Sensible
FKR76	90	6	Sensible
FKR78	97	6,5	Sensible
FKR62N (NERICA L-19)	115	5 - 7	Résistante
FKR56N	116	6 - 7	Tolérant
FKR84 (Orylux6)	100	5 - 6	Résistante
FKR80	98	6 - 7	sensible
FKR19	95	4 - 6	Sensible

(Traoré, (2016) ; INERA, (2018) ; Bagayogo, (2011)

Tableau 2 : Liste des accessions de IRRI et quelques-unes de INERA

Liste des accessions	Origines	Listes des accessions	Origines
JAMIR (LYT4-4149)	IRRI	BR28 (LYT4 -4134)	IRRI
SAHEL108 (LYT4-4153)	INERA	IRRI147 (LYT4-4131)	IRRI
IR69726-116-1-1 (LYT4-4125)	IRRI	SAHEL134 (LYT4-4123)	INERA
IR 64/rymv1.2	IRRI	Manaw Thukha (LYT4-4234)	IRRI
Swarna (LYT4-4115)	IRRI	ARICA2	INERA
Sahel 328	INERA	IR77298-14-1-2-10 (LYT4-4116)	IRRI
SAHEL 177 (LYT4-4132)	INERA	IRBB1	IRRI
IR64 (LYT4-4222)	IRRI	IRRI104 (LYT4-4145)	IRRI
F50 (LYT4-4120)	IRRI	CC5B Glab	INERA
IR77186-122-2-2-3 (LYT4-4112)	IRRI	MG2 :IRGC79837-1 (LYT4-4155)	IRRI
IR6 (LYT4-4118)	IRRI	IRBB7	IRRI
Khao Hlan On (LYT4-4214)	IRRI	IR84984-83-15-481-B (APSI-C-28)	IRRI
IR10F360 (LYT4-4216)	IRRI	Tog5681	IRRI
IR64	IRRI	IR13F167 (LYT4-4135)	IRRI
ARICA1	IRRI	IRBB66 (ASPI-C-8)	IRRI

ZHENSHAN97B (LYT4-4119)	IRRI	HB88 Glab	IRRI
Jasmine 85 (LYT4-4110)	IRRI	GIZA17 (LYT4-4144)	IRRI
TEQING (LYT4-4114)	IRRI	Tog7291	IRRI
Supa (LYT4-4221)	IRRI	GSRIR2-9-R1-SU3-Y2 (LYT4-4141)	IRRI
Nanhi (APSI-C-4)	IRRI	IR95042 : 13-B-7-11-15-3 (IR95042)	IRRI
ARICA5	INERA	Sadri (LYT4-4207)	IRRI
HOKKAI188	IRRI	ORYZICA SABANA 6 (LYT4-4205)	IRRI
ARICA4	INERA	ZANTON : IRGC 31248-1(APSI-C-24)	IRRI
M202 (APSI-C-10)	IRRI	DJ123 (LYT4-4129)	IRRI
CHHOMRONG DHAN	IRRI	ARICA3	INERA
N22 : IRGC 19379-1 (LYT4-4211)	IRRI	CT11891-2-2-7-M (LYT4-4236)	IRRI
Kinandang Patong (LYT4-4117)	IRRI	ORYZICA SABANA 10 (LYT4-4219)	IRRI
MOROBREKAN (LYT4-4104)	IRRI		

Méthodes

Dispositif expérimental : L'essai a été mis en place selon un dispositif Alpha Latice avec 03 répétitions. Chaque répétition comportait 63 entrées répartie en neuf (09) blocs dont sept (07) accessions par bloc. Les écartements entre les poquets et entre les lignes étaient respectivement de 25 x 25 cm. Chaque accession a été repiquée sur 04 lignes de 4m. Les répétitions étaient espacées de 1m et les blocs de 0,5m. La superficie de chaque parcelle élémentaire était 4m² (1mx4m). La superficie totale de l'essai était 884 m² (68 x13m).

Installation et conduite de l'essai : L'essai a été mis en place le 31 juillet 2020. Les différentes opérations culturales ont porté sur le labour, la mise en place de la pépinière, la préparation de la parcelle, le repiquage, l'entretien et la récolte. Les dates des différentes opérations culturales sont annexées dans le présent rapport.

Labour et mise en place de la pépinière : Après drainage, un labour de l'ensemble de la parcelle, d'environ 10 à 15 cm de profondeur de sol est effectué à l'aide d'un motoculteur. L'extrémité de la parcelle, à proximité des canaux d'irrigation est planée. Le semis de chaque accession est ensuite effectué à la volée sur une superficie de 0,25 m².

Préparation de la parcelle et repiquage : Après le labour et l'installation des pépinières, La mise en boue, le planage et le piquetage de la parcelle ont été effectués. Au bout de 21

jours, des jeunes plants ont été soigneusement arrachés des pépinières et repiqués en ligne en raison de 1 plants par poquet et aux écartements de 25 cm entre les lignes et de 25 cm entre les poquets.

Entretien de la parcelle : L'engrais complexe NPK (14-23-14) est appliqué au repiquage à la dose de 200 kg/ha. Puis, 150 kg/ha d'urée (46 % N) ont été fractionnés à des doses de 50 kg/ha aux stades de début tallage (15 jours après repiquage) et les 100 kg/ha restants sont apportés aux 55 jours après repiquage. La lutte contre les mauvaises herbes est réalisée avec trois sarclages manuels, respectivement au 14 ; 50 et 80 jours après repiquage. Une épuration est ensuite effectuée avant récolte pour éliminer systématiquement les plantes hors type dans chaque parcelle élémentaire.

Récolte : La récolte du riz a été effectuée en fonction des cycles de chaque accession. De manière générale, elle a débuté lorsque les 2/3 des panicules ont pris la couleur caractéristique de l'accession à maturité dans chaque parcelle élémentaire. La coupe des panicules a été effectuée manuellement à l'aide d'une faucille.

Observation et collectes de données : Les différentes observations ont porté sur les variables qualitatives et quantitatives. Les variables qualitatives ont porté sur la toxicité ferreuse et les variables quantitatives ont concerné 13 caractères agromorphologiques dont 05 caractères morphologiques et 08 caractères agronomiques.

Observations sur la toxicité ferreuse : Des observations sur l'évolution de la toxicité ferreuse sont effectuées respectivement aux 20^{èmes} ; 40^{ème} et 60^{ème} jours après repiquage sur la base de l'échelle proposée par IRRI (2002)

en fonction de chaque parcelle élémentaire. De façon pratique, une échelle allant de 0 à 9 a été utilisée pour évaluer le degré d'infection (Tableau 3).

Tableau 3 : Score de notation de la toxicité ferreuse

Notes	Effet de la toxicité sur les feuilles
0	Croissance et tallage normale
1	Croissance et tallage presque normale ; taches brun-rougeâtres ou décoloration orange sur des bouts des feuilles les plus anciennes
3	Croissance et tallage presque normale ; un jaunissement des feuilles et une couleur brun-rougeâtre, pourpre, ou orange sur les feuilles les plus anciens
5	Croissance et tallage retardés ; beaucoup de feuilles décolorées
7	La croissance et le tallage cessent ; la plupart des feuilles sont décolorées ou mortes
9	Presque toutes les feuilles de la plante sont brûlées et séchées.

(IRRI, 2002)

Caractères agromorphologiques : Les observations ont concerné 13 caractères quantitatifs. Elles sont évaluées sur cinq (05) pieds centrés dans chaque parcelle élémentaire.

Les caractères morphologiques (05caracteres) étaient constitués :

- du nombre moyen de talles au 60JAR (Jour Après Repiquage) (T60), Cela a consisté à un comptage manuel du nombre de talle par poquet ;
- hauteur des plants à maturité (HM). Cette mesure est prise à maturité des plants. Exprimée en centimètre, elle est mesurée sur le brin maître (ou sur la talle la plus longue) à l'aide d'une règle graduée depuis la surface du sol jusqu'au bout de la panicule la plus haute ;
- nombre de panicules (NP), il est déterminé avant la récolte par un comptage manuel des panicules ;
- longueur et largeur de la feuille paniculaire (LFP et lfp) ; elles sont mesurées à l'aide d'une règle graduée avant maturité totale des plants ;

Ensuite s'ajoute deux (02) caractères liés au cycle végétatif (stade phénologique). Ce sont :

- cycle semi-floraison/épiaison (CSE), représente le nombre de jours entre le semis et

l'épiaison à 50%. Il est noté lorsque 50% des plants ont atteint le stade d'épiaison ;

- cycle semi-maturité (CSM) ; il correspond au nombre de jours séparant le semis et la maturité des plants lorsque les $\frac{3}{4}$ des panicules ont une couleur jaune paille ;

Enfin six (06) caractères agronomiques :

- poids de panicule (PP), il est évalué après récolte à l'aide d'une balance au laboratoire ;
- longueur de panicule (LP), elle est également mesurée à maturité avant la récolte ;
- longueur et largeur des grains (LG et lg), elles sont évaluées après récolte au laboratoire à l'aide du pied à coulisse ;
- poids de 1000 grains (PMG), évalué au labo après comptage de 1000 grains au taux d'humidité de 14% ;
- rendement (Rend), il est évalué par parcelle élémentaire au taux d'humidité de 14%.

Analyse de données : Les données ont d'abord été notées dans un cahier de champ au cours des observations. Puis saisies sur le tableur Excel 2016. Pour observer le comportement des accessions à la toxicité ferreuse, le logiciel STATISTIC 10 a été utilisé pour construire les Box plots. Le test de normalité a été effectué à l'aide du logiciel

XLSTAT 2016 et des transformations par la méthode log 10 ont été effectuées sur les données des caractères ne suivant pas la loi normale. Le logiciel R a été également utilisé pour effectuer l'analyse de variance (ANOVA), enfin d'observer les caractères qui discriminent les individus. Le même logiciel a permis de calculer l'héritabilité (H^2) au sens large à l'aide de la formule ci-dessous. Le logiciel XLSTAT 2016 a été utilisé pour établir des études de relation entre les caractères quantitatifs, notamment la matrice de corrélation de Pearson et l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Les variables

RESULTATS

Évolution de la toxicité ferreuse sur les accessions : Les résultats des scores de la toxicité ferreuse au 20 ; 40 et 60 JAR sont illustrés par la Figure 1. Le Box plot présente les valeurs et les moyennes de la toxicité ferreuse au 20 ; 40 et 60 jours après repiquage. En effet, l'effet de la toxicité ferreuse sur les plantes devient sévère, au fur à mesure que nous évoluons selon les stades de développement des plantes de riz étudiées. Les moyennes ont varié de 0 ; 3 et 5 respectivement au 20 ; 40 et 60^{ème} JAR. Au 20^{ème} JAR, les individus n'ont pas montré des symptômes très sévères. Les scores ont varié de 0 à 1. Les individus qui ont présenté le score 1 sont la IR64, IR64-21, ARICA4, Moroberekan, IR64/rymv Hokkai188 et M202. Au 40^{ème} JAR, les scores ont varié de 0 à 5. Les accessions Hokkai 188 et M202 ont enregistré le niveau de score 5. Les variétés FKR84 et FKR62N et les accessions, Tog 5681 et Jamir n'ont pas présenté de symptôme de toxicité ferreuse (score 0). Les témoins sensibles ont présenté de score allant de 1 à 3. Les valeurs des scores au 60^{ème} JAR ont varié de 0 à 7. Les accessions Tog 7291, Tog 5681 et Jamir et la variété FKR62N n'ont pas enregistré de symptômes avec un score 0. Les accessions IR64 et IR64-21, Hokkai188 et M202 ont

peu corrélées et discriminantes ont été utilisés pour l'étude de la structuration de la variabilité au sein de la collection par une analyse de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). La différenciation des groupes issus de la CAH a été effectuée par une ANOVA des groupes. Ces analyses multivariées ont été réalisées avec le même logiciel XLSTAT 2016.

$$H^2 = \frac{Vg}{Vp} * 100$$

Où Vg = variance génotypique ; Vp = variance phénotypique

respectivement présenté les scores les plus sévères (5 à 7).

Variabilité agromorphologique des accessions en condition de toxicité ferreuse

Caractères morphologiques : Les résultats des analyses de variances pour les caractères morphologiques ont montré des différences très hautement significatives pour tous les caractères au seuil de probabilité de 5% selon le test de Fisher. La valeur d'héritabilité au sens large (H^2) la plus petite (54%) est enregistrée avec le caractère longueur de la feuille paniculaire (LFP) et la plus grande avec le caractère largeur de la panicule (90%). Par ailleurs, le nombre de talles a varié de 3 à 23 talles/poquet avec une moyenne de 11 talles/poquet et le nombre de panicules de 3 à 22 panicules/poquet avec une moyenne de 10 panicules/poquet (Tableau 4). La hauteur moyenne calculée est de 109,2 cm avec des valeurs variantes entre 56,4 et 186,2 cm. La longueur de la feuille paniculaire a varié de 18,8 à 84,9 cm avec une moyenne de 31,11cm, la largeur de 9 à 23,4 mm avec une moyenne de 15,56 mm (Tableau 4).

Caractères liés aux stades phénologiques : Les caractères relatifs aux stades phénologiques (CSE et CSM) ont respectivement varié de 54 à 116 jours et de 81 à 136 jours avec des moyennes de 81 et 106

jours. L'analyse de variance a montré de différence très hautement significative pour les deux (02) caractères au seuil de probabilité de 5% selon le test de Fisher ($< 0,0001$). Les valeurs d'héritabilité et de coefficients de variation sont respectivement de 85% et 11,08% pour le caractère CSE et 94% et 9,54% pour le caractère CSM (Tableau 5).

Caractères agronomiques : L'analyse de variance a également montré de différence significative au seuil de probabilité de 5% selon Fisher pour les caractères agronomiques évalués. L'héritabilité et le coefficient de variation les plus petits sont respectivement 33% et 6,63% enregistré avec le caractère longueur de la panicule. Les plus grandes valeurs d'héritabilité (96%) et de coefficient de

variation (39,81%) sont respectivement enregistrées avec les caractères longueur de grains et poids de panicules. En outre, les valeurs de la longueur de panicules ont varié de 13,1 à 31 cm avec une moyenne de 23,87cm. Celles du poids de panicules ont varié de 0,8 à 7,2 g avec une moyenne de 3,02 g. Le rendement moyen enregistré est de 3340 kg/ha. Les valeurs ont par ailleurs varié de 695 à 5800 kg/ha. La taille des grains est un caractère important dans le choix des variétés. Elles ont varié de 1,5 à 3 mm pour la largeur et de 6 à 10,3 mm pour la longueur. Pour le Poids de 1000 grain, les valeurs ont varié de 23 à 38,01 g avec une moyenne de 30,39 g (Tableau 6).

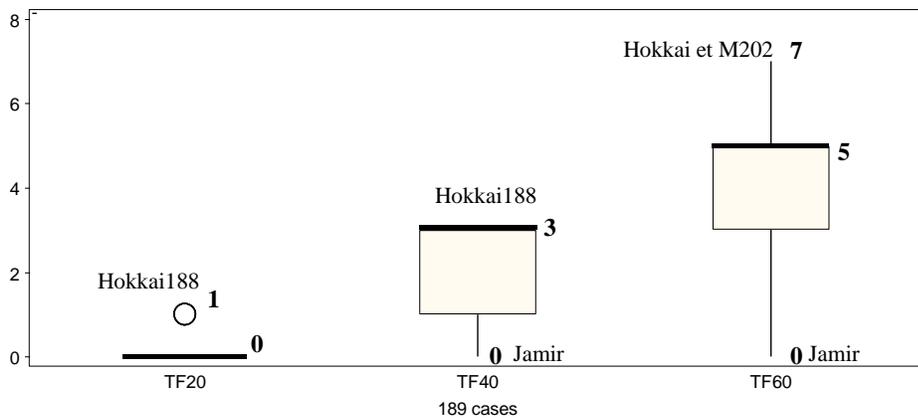


Figure 1 : scores moyens de la toxicité ferreuse au 20^{ème}, 40^{ème} et 60^{ème} jour après repiquage

Tableau 4 : Caractères morphologiques des 63 accessions de riz

Variabiles	T60	NP	Haut	LFP	lfp
Min	3	3	56.4	18.8	9
Max	23	22	186,2	84.9	23.4
Moy	11	10	109,20	31.11	15.56
CV (%)	33.3	27.68	25.37	26.26	17.03
F	3,16	6,35	6,74	2,23	8,92
R ²	0.6	0.75	0.76	0.51	0.81
H ² (%)	76	83	85	54	90
Pr	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Sign	***	***	***	***	***

Legendre : Min : Valeur Minimale ; Max : Valeur Maximale ; Moy : Moyenne ; F : F de Fisher ; H² : Héritabilité au sens large ; Pr : Probabilité ; Sign : Signification ; CV : Coefficient de variation ; R² : Coefficient de détermination ; T60 : Talles au 60eme Jours après repiquage ; NP : Nombre de panicules à Maturité ; Haut : Hauteur à Maturité Cycle Semi-Maturité ; LFP : Longueur de la Feuille Paniculaire ; lfp : largeur de feuille paniculaire

Tableau 5 : Caractères liés aux stades phénologique des soixante (63) de riz

Variables	CSE	CSM
Min	54	81
Max	116	136
Moy	81	106
CV (%)	11.08	9.54
F	6,75	17,90
R²	0.76	0.89
H² (%)	85	94
Pr	< 0,0001	< 0,0001
Sign	***	***

Legendre : **Min** : Valeur Minimale ; **Max** : Valeur Maximale ; **Moy** : Moyenne ; **F** : F de Fisher ; **H²** : Héritabilité au sens large ; **Pr** : Probabilité ; **Sign** : Signification ; **CV** : Coefficient de variation ; **R²** : Coefficient de détermination ; **CSE** : Cycle Semi-Épiaison ; **CSM** : Cycle Semi-Maturité

Tableau 6 : Caractères agronomiques des soixante-trois (63) accessions de riz

Variables	LP	PP	Rend	lg	LG	PMG
Min	13,1	0.8	695	1.5	6	23.69
Max	31	7.2	5800	3	10.3	38.01
Moy	23,87	3.02	3340.5	2.1	8.58	30.39
CV (%)	6,63	39.81	35.79	15,87	10.92	9.96
F	1,52	4,49	6,83	12	31,20	13,75
R²	0.42	0.68	0.76	0.79	0.93	0.86
H² (%)	33	79	86	92	96	92
Pr	0,005	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Sign	**	***	***	***	***	***

Legendre : **Min** : Valeur Minimale ; **Max** : Valeur Maximale ; **Moy** : Moyenne ; **F** : F de Fisher ; **H²** : Héritabilité au sens large ; **Pr** : Probabilité ; **Sign** : Signification ; **CV** : Coefficient de variation ; **R²** : Coefficient de détermination ; **CSE** : Cycle Semi-Épiaison ; **CSM** : Cycle Semi-Maturité ; **LP** : Longueur de la Panicule ; **PP** : Poids de Panicules ; **Rend** : Rendement ; **lg** : largeur d'un grain ; **LG** : Longueur d'un Grain ; **PMG** : Poids de 1000 Grains

Relation entre caractères quantitatifs

Corrélation entre les caractères : L'analyse des corrélations bivariée de Pearson entre les caractères quantitatifs a révélé l'existence des corrélations positives et très hautement significative entre le nombre de talles au 60^{ème} JAR (T60) et le nombre de panicules à maturité (NP) ($r=0,51$) ; entre la hauteur des plants à maturité (Haut) et la largeur de la feuille paniculaire (lfp) avec un coefficient de corrélation (r) égale à 0,54 ; entre la cycle semi-épiation (CSE) et le cycle semi-maturité (CSM) avec $r=0,76$ et entre le poids des panicules (PP) et le rendement (Rend) ($r=0,53$). Par ailleurs des corrélations négatives et significatives sont remarquées d'une part entre le nombre de panicules (NP) et le poids de 1000 grains (PMG) ; la largeur

de la feuille paniculaire (lfp) et la largeur des grains (lg) et d'autre part entre la longueur des grains et sa largeur (lg). Les résultats de ces corrélations sont détaillés dans le Tableau 7.

Association entre les caractères : Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont regroupés dans la Figure 2 et Tableau 8. Ils donnent une estimation de la variabilité représentée par chaque axe (facteurs). Les quatre (04) premiers axes F1, F2, F3 et F4 expriment 70,78 % de la variabilité totale (Tableau 8). Les principaux axes F1 et F2 représentent à eux seul 52,89 % de la variabilité. En effet, les caractères Hauteur des plants à maturité (Haut), Cycle Semi-Épiaison, (CSE), Cycle Semi-Maturité (CSM), Longueur et largeur de la feuille paniculaire (lfp), Poids des Panicules (PP), et

le Rendement (Rend) sont corrélés à l'axe F1. Cet axe peut être décrit comme étant l'axe de la productivité. Il exprime 32,10 % de la variabilité, avec une valeur propre de 4,17. Les caractères nombre talles au 60^{ème} JAR (T60), nombre de panicules à maturité (NP), et la largeur de grain sont corrélés à l'axe F2, avec 20,78 % de la variabilité et une valeur propre

de 2,70. Cet axe pourrait être défini comme étant l'axe de la croissance et du développement végétatif. Par ailleurs, les caractères Longueur de grain (LG) et Poids de 1000 grains (PMG) sont respectivement corrélés à l'axe F3 avec 10% de la variabilité et une valeur propre de 1,3. La Longueur de la Panicules (LP) est corrélée à l'axe F4.

Tableau 7 : Corrélations entre les caractères

Variables	T60	NP	Haut	CSE	CSM	LFP	lfp	LP	PP	Rend	PMG	LG	lg
T60	1												
NP	0.51	1											
Haut	-0.14	-0.23	1										
CSE	0.16	0.09	0.26	1									
CSM	0.16	0.18	0.22	0.76	1								
LFP	-0.10	-0.18	0.42	0.24	0.22	1							
lfp	-0.12	-0.35	0.54	0.41	0.36	0.40	1						
LP	-0.02	-0.06	0.15	0.24	0.26	0.16	0.15	1					
PP	-0.13	-0.13	0.28	0.48	0.46	0.18	0.41	0.17	1				
Rend	0.15	0.14	0.06	0.49	0.50	0.12	0.16	0.23	0.53	1			
PMG	-0.19	-0.26	0.22	0.11	0.02	0.13	0.29	0.14	0.21	0.11	1		
LG	-0.01	0.11	-0.01	0.18	0.21	0.07	0.01	0.10	0.17	0.25	0.30	1	
lg	-0.17	-0.37	0.21	-0.06	-0.14	0.10	0.23	-0.08	0.01	-0.06	0.31	-0.38	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

Legende : **T60** : Talles au 60ème Jours après repiquage ; **NP** : Nombre de panicules à Maturité ; **Haut** : Hauteur à Maturité ; **CSE** : Cycle Semi-Épiaison ; **CSM** : Cycle Semi-Maturité ; **LFP** : Longueur de la Feuille Paniculaire ; **lfp** : largeur de feuille paniculaire ; **LP** : Longueur de la Panicule ; **PP** : Poids de Panicules ; **Rend** : Rendement ; **lg** : largeur d'un grain ; **LG** : Longueur d'un Grain ; **PMG** : Poids de 1000

Tableau 8 : Cosinus carrés des variables

Variables	F1	F2	F3	F4
T60	0,022	0,481	0,12	0,00
NP	0,069	0,636	0,02	0,015
Haut	0,412	0,122	0,07	0,047
CSE	0,651	0,178	0,028	0,003
CSM	0,553	0,243	0,038	0,004
LFP	0,461	0,051	0,02	0,04
lfp	0,607	0,1	0,033	0,005
LP	0,027	0,001	0,03	0,789
PP	0,698	0,011	0,013	0,008
Rend	0,419	0,208	0,027	0,011
PMG	0,162	0,117	0,29	0,003
LG	0,069	0,128	0,549	0,083
lg	0,025	0,427	0,072	0,009
Valeur propre	4,173	2,703	1,308	1,018
Variabilité (%)	32,102	20,789	10,065	7,828
% cumulé	32,102	52,892	62,957	70,785

Legende : **T60** : Talles au 60ème Jours après repiquage ; **NP** : Nombre de panicules à Maturité ; **Haut** : Hauteur à Maturité ; **CSE** : Cycle Semi-Épiaison ; **CSM** : Cycle Semi-Maturité ; **LFP** : Longueur de la Feuille Paniculaire ;

lfp : largeur de feuille paniculaire ; *LP* : Longueur de la Panicule ; *PP* : Poids de Panicules ; *Rend* : Rendement ; *lg* : largeur d'un grain ; *LG* : Longueur d'un Grain ; *PMG* : Poids de 1000 Grain

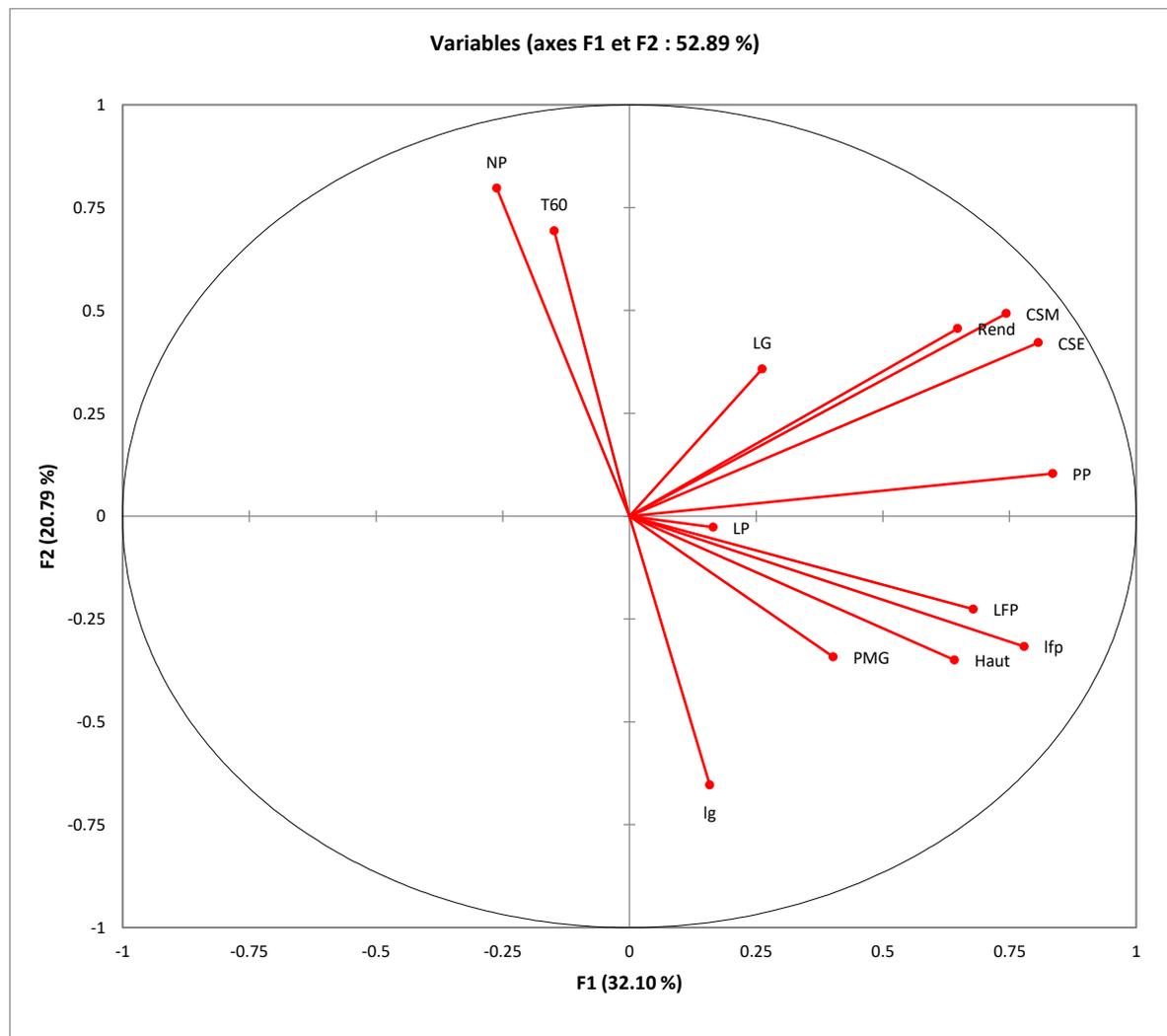


Figure 2 : Association entre les caractères

Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

Structuration de la variabilité entre les accessions : La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été effectuée à partir des caractères discriminants et en tenant compte également de ceux qui sont peu corrélés entre eux. Ces caractères sont essentiellement le Cycle Semi-Épiaison (CSE) ; la Longueur de la panicule (LP) ; le Poids de Panicule (PP) et le Rendement (Rend). Elle a donné une structuration de la variabilité en trois (03) groupes (Figure 3). Le Tableau 9 regroupe les performances des groupes issus de la CAH.

L'analyse de variance a montré des différences significatives pour tous les quatre (04) caractères au seuil de probabilité de 5%. Ces caractères discriminent donc les trois (03) groupes issus de la CAH. En effet les accessions du groupe 1 se sont montrées bien performantes avec un rendement moyen de plus de 4293 kg/ha, Poids de Panicules élevés (3,6 g), une Longueur de Panicule moyen (31 cm) et Cycle Semi-Épiaison plus long (85 jours). Ce groupe est constitué de 28 accessions (Supa, ARICA 2, IR 69726-116-1-

1, Sahel 177, IR6, IR10F360, Jasmine 85, GSR IR2-9-R1-SU3-Y2, IRBB7, IR13F167, Sahel 328, IR77186-122-2-2-3, TEQING, Manaw Thukha, IR64/rym, IR64, ARICA 1, MG 2::IRGC 79837-1, *Oryzica sabana* 10, IR 64-21, Sahel 108, RBB1, Giza 178) dont 05 témoins reconnus performantes. Ce sont FKR64, FKR78, FKR76, la FKR56N et FKR 62 N (Nerica L-19) (Tableau 9). Le groupe 2 est un groupe intermédiaire. Il est composé de 16 accessions (Tog7291, Moroberekan, Khao Hlan On, *Oryzica sabana* 6, F50, IRR147, Kinandang Patong, ARICA5, Zanton : IRGC 31248-1, IRBB 66, BR28, Sahel 134, IR 95042 :13-B-7-11-15-3) dont 03 témoins FKR84 (Orylux6), FKR19 et FKR80 (Tableau 9). Excepté la FKR84, les deux (02) autres témoins sont reconnus sensibles à la toxicité ferreuse. Le rendement moyen enregistré avec ce groupe est 3244kg/ha. Les longueurs des panicules les plus grandes sont enregistrés

avec ce groupes 2 (35 cm) le Cycle Semi-Épiaison et le Poids de Panicule (PP) enregistrés sont moyens, respectivement 82 jours et 3 g. Les accessions du groupe 3 sont caractérisés par les rendements moyens les plus faibles (environ 2000 kg/ha), les cycles les plus courts (74 jours), les Longueurs de Panicules les plus petites (21 cm) et les Poids de Panicules les plus faibles (2 g). Il est composé 19 accessions (HB88 Glab, CC5B Glab, Tog 5681, DJ123, Sadri, Swarna, IR77298-14-1-2-10, ARICA 3, IR84984-83-15-481-B, Chhomrong Dhan, ARICA4, Jamir, N 22 : IRGC 19379-1, CT11891-2-2-7-M, ZHENSHAN 97 B, IRR1 104, Nanhi, Hokkai 188, M202). Ce groupe ne renferme aucun témoin. Les accessions ayant présentés les symptômes de toxicité ferreuse les plus sévères (Hokkai 188 et M202) sont également dans ce groupe.

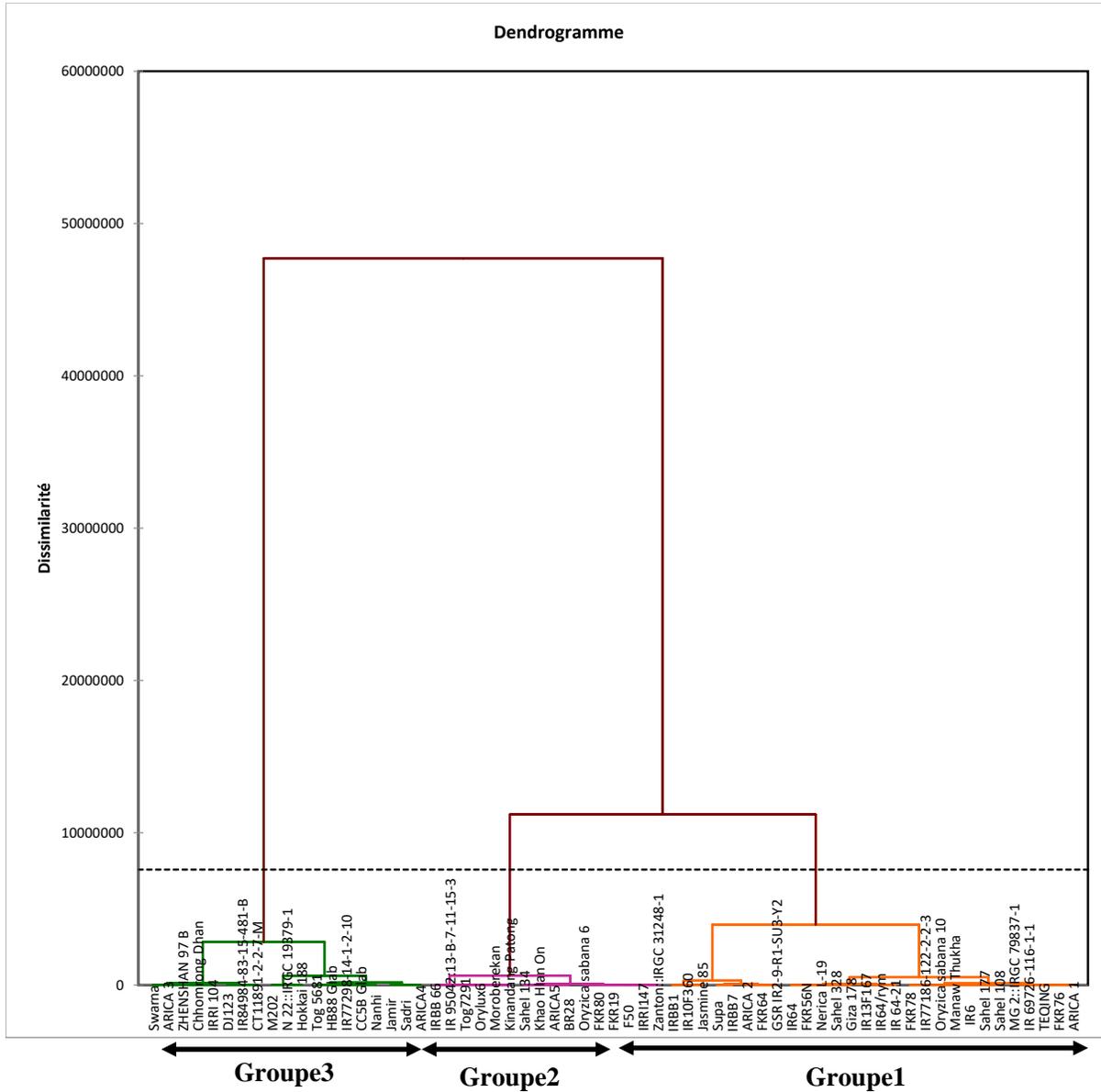


Figure 1: Regroupement des soixante – trois (63) accessions en trois (03) groupes

Tableau 9 : Performance des groupes issus de la CAH

Groupes	CSE	LP	PP	Rend
G1 (28 accessions)	85.798 a	31.65 a	3.60 a	4293.988 a
G2 (16 accessions)	82.083 a	35.03 a	3.07 b	3244.792 b
G3 (19 accessions)	74.544 b	21.64 b	2.132 c	2016.053 c
Pr > F	< 0,0001	0,007	< 0,0001	< 0,0001
Significatif	***	**	***	***

Legendre : **CSE** : Cycle Semi-Épiaison ; **LP** : Longueur de la panicule ; **PP** : Poids de Panicules **Rend** : Rendement ; **Pr** : probabilité ; *** : très hautement significatif ; ** : hautement significatif

DISCUSSION

L'analyse des données de la toxicité ferreuse sur les 63 accessions a permis d'obtenir des résultats forts intéressants. Les variations des scores de la toxicité ferreuse sur les accessions au 20 ; 40 et 60^{ème} jours après repiquage signifieraient que les accessions n'ont pas les mêmes comportements à la toxicité ferreuse et que l'effet de la toxicité ferreuse sur les plants de riz devient sévère au fur à mesure que nous évoluons selon le stade végétatif des plants. Les symptômes caractéristiques de la toxicité ferreuse se sont progressivement présentés sur les limbes sous forme des taches brunes (caractéristiques du bronzing), puis généralisée à l'ensemble des parcelles au niveau des accessions sensibles. Ces résultats confirment ceux de Barry (2020) qui stipulent que les plantes réagiraient différemment à la toxicité ferreuse et présenteraient des symptômes typiques de la toxicité ferreuse pour les accessions sensibles et tolérantes. Le score 0 obtenu avec les accessions Tog 7291, Tog 5681 et la variété FKR62N signifierait que ces accessions seraient résistantes à la toxicité ferreuse. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les accessions Tog 7291 et Tog 5681 seraient des *glaberrima* et la variété FKR62N une interspécifique (*glaberrima* x *sativa*). Ces résultats sont similaires à ceux de Konaté (2012) qui aurait obtenu des scores allant de 0 à 1 sur certains *glaberrima* évalués. Par ailleurs Sié *et al* (2008), estiment que *Oryza glaberrima* est l'espèce de riz africain qui est reconnue pour son adaptabilité au milieu de culture, sa tolérance aux stress, aux maladies et aux insectes. Cependant il serait sensible à la verse et présenterait une productivité faible. Quant à la variété FKR62N, elle est le résultat d'un croisement entre *O. glaberrima* et *O. sativa*. Elle a été développée par des techniques de récupérations d'embryons issus de croisements interspécifiques suivis de rétrocroisements successifs avec le parent *sativa*. Ces descendants héritent des avantages de la

productivité du parent asiatique et de l'adaptation au milieu de culture, la tolérance aux stress, aux maladies et aux insectes du parent africain. La caractérisation agro-morphologique des accessions de riz nous a permis également d'obtenir des résultats forts intéressants. Les écarts entre les valeurs minimales et maximales des différents caractères évalués, les coefficients de variation élevés et les différences significatives entre les caractères signifieraient qu'il existerait une grande variabilité génétique entre les accessions évaluées. Exceptés les caractères Poids de Panicules (PP) et la Longueur de la Feuille Paniculaire (LFP), respectivement avec 54 et 33% du taux d'héritabilité, tous les autres caractères ont enregistré des valeurs d'héritabilité supérieur à 76%. Ce qui signifierait que l'expression des différents caractères est beaucoup plus liée aux génotypes qu'à l'environnement. Ces résultats confirment ceux de Robinson *et al.*, (1966), qui stipulent que le taux d'héritabilité au sens large est considéré comme élevé au-delà de 60 %, faible en deçà de 30 % et modéré entre 30 et 60 %. La quasi-totalité des caractères étudiés ont enregistré des pourcentages héritabilités élevés (>60%). Ces fortes héritabilités des caractères confirmeraient la faible influence des facteurs environnementaux sur l'expression des caractères agromorphologiques. Par ailleurs, les plus faibles nombres de talles enregistrés par certaines accessions (Moreberekkan, ARICA 3 et ARICA 4) et la plus petite taille obtenue avec Hokkai 188 s'expliqueraient par le fait que ces accessions sont sensibles à la toxicité ferreuse. Cherif *et al.*, (2010) estime que le fer ferreux (Fe^{2++}) est absorbé en abondance par les racines et se concentre dans les feuilles. Il ralentit la croissance, réduit le tallage, par conséquent affecte considérablement le rendement. Les pertes de rendement peuvent en moyenne aller jusqu'à 54%. Cependant certaines accessions (Supa, IRBB7 et ARICA2, GSR IR2-9-R1-SU3-Y2 et

FKR64) bien que sensibles à la toxicité, ont présenté des rendements atteignant presque les 5000 kg/ha. Cela pourrait s'expliquer par un mécanisme physiologique ou génétique que certaines accessions développeraient pour lutter contre la toxicité ferreuse. La présence de génotypes saints durant toute la période du stress offre des perspectives de combinaison des approches de sélection conventionnelle et moléculaire afin de développer rapidement des variétés tolérantes à la toxicité ferreuse et à haut potentiel de rendement. Le coefficient de corrélation sert à caractériser une relation linéaire positive ou négative entre deux (02) caractères. Plus il est proche de 1 (en valeur absolue), plus la relation est forte entre les caractères. C'est pourquoi les fortes valeurs de coefficient corrélation enregistrées d'une part entre le nombre de talles au 60^{ème} JAR (T60) et le nombre de panicules à maturité (NP), et d'autre part entre le Poids de Panicules (PP) et le rendement (Rend) signifieraient qu'il existerait une liaison forte entre ces caractères pris deux à deux. Sié (2019) et Kaboré (2019), ont enregistré des valeurs similaires sur les

accessions de riz de *glaberrima*, évaluées dans la région des Cascades au Burkina Faso. Les coefficients de détermination (r^2) 0,26 et 0,28, obtenus grâce au carré des coefficients de corrélation (r) d'une part entre le nombre de talles au 60^{ème} JAR (T60) et d'autre part entre le Poids de panicule (PP) et le rendement signifieraient que 26% de la variance du nombre de talles pourrait expliquer le nombre de panicule et 28% de la variance du poids de panicules pourrait également expliquer le rendement. Des trois groupes obtenus à partir de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), les accessions du groupe 1 se sont bien illustrés, avec des rendements de l'ordre de plus de 4000kg/ha et ceux, malgré les conditions de stress lié à la toxicité ferreuse. Les accessions résistantes ou tolérantes à la toxicité ferreuse (avec des scores 0 ou 1) appartenant à ce groupe, pourraient être sélection pour la suite d'amélioration variétale. Cependant, il serait judicieux de confirmer ces résultats avec des analyses au niveau moléculaire (ADN).

CONCLUSION ET APPLICATIONS DES RESULTATS

L'objectif de l'étude qui est d'évaluer les performances des accessions en condition de toxicité ferreuse est atteint. L'analyse des données des scores de la toxicité ferreuse a montré que les accessions ne réagissent pas de la même manière à la toxicité ferreuse et que celle-ci devient sévère et évolue selon le stade de développement des accessions. L'analyse de variance a permis de montrer que tous les caractères agromorphologiques évalués, discriminent les accessions évaluées. Les fortes valeurs d'héritabilités des caractères ont confirmé la faible influence des facteurs environnementaux sur l'expression de ces caractères agromorphologiques évalués. Les accessions M202 et Hokkai se sont montrées sensibles avec les rendements les plus faibles. Cependant, IRBB7 et Supa, bien que présentant les symptômes de la toxicité, se sont

bien distinguées avec des rendements pouvant atteindre plus de 5000kg/ha. Ces accessions seraient donc tolérantes. Les analyses des corrélations ont également montré de fortes corrélations positives entre certains caractères notamment entre le nombre de talles et le nombre de panicules d'une part et d'autre part entre le Cycle Semi-Maturité (CSM) et le rendement (Rend). La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a permis de regrouper les accessions en 03 groupes. Les 28 accessions du groupe 1 se sont bien illustrées en condition de toxicité avec des rendements de l'ordre de 4000 kg/ha. Cependant, l'étude devrait se poursuivre en effectuant dans un premier temps des essais multilocaux. Cela permettra d'observer le comportement des accessions sur d'autres sites, autre que la Vallée du Kou. Par ailleurs cette étude devrait

également être associée à des marqueurs moléculaires, enfin de confirmer les résultats

de la variabilité agromorphologique en condition de toxicité ferreuse.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient Institut de Recherche et du Développement et Institut de

l'Environnement de Recherche Agricole, pour avoir permis la réalisation des travaux.

REFERENCES

- ADRAO, 2002. Toxicité ferreuse dans les bas-fonds : la rouille du riz. Rapport annuel, Points saillants des activités. 37p.
- Audebert A., 2006 « Diagnostic du risque et approches de gestion de la toxicité ferreuse dans les bas-fonds » Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO) ISBN : 92 9113 3027. Cotonou Bénin. In WARDA, 01 B.P. 2031 Cotonou, Bénin. 6-17p
- Barry M. L. 2020. Caractérisation des variétés traditionnelles de riz cultivées (*Oryza sp.*) en Guinée et identification des génotypes tolérants à la toxicité ferreuse. Thèse de doctorat unique en biologie appliquée, spécialité : génétique et amélioration des plantes. Université Joseph KI ZERBO, Burkina Faso. 134p
- Bagayogo A., 2011. Évaluation et Sélection variétale Participatives de nouvelles variétés tolérantes à la toxicité ferreuse et aux principaux ravageurs (Insectes et maladies) sur les périmètres rizicoles de Niéna Dionkélé (Bas-fond) et de la Vallée du Kou (irriguée). Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, 01 B.P. 091 Bobo Dioulasso 01. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 65p.
- Bongoua D A J., 2009. Implication des communautés bactériennes Ferri-réductrices et des paramètres environnementaux dans le fonctionnement et la qualité des sols de rizières (Thaïlande et côte d'Ivoire). Thèse en cotutelle de grade de Docteur en science du sol option : géomicrobiologie. Université HENRI POICARE, NANCY/France. 251p
- Cherif M., Fofana M., Sorho F., Zouzou M. et Audebert A., 2010. Compte Rendu du symposium sur la résistance du riz à la pyriculariose. Montpellier, 18-21 Mars 1981. 34398 Montpellier cedex5, France. 66p.
- De Dorlodot S., Lutts S. and Bertin P., 2005. Effects of ferrous iron toxicity on the growth and mineral composition of an interspecific rice. J. Plant Nutr. 28 : 1-20p
- FAO, 2015. Évaluation du programme de la FAO au Burkina Faso : Étude de cas sur l'aménagement de trois bas-fonds rizicoles dans la région Nord au Burkina Faso. 5- 25p
- FAOSTAT, 2018. Données statistiques sur le riz. [Http://www.fao.org/faostat/en/data/QC](http://www.fao.org/faostat/en/data/QC). Accessed 12 02 2019.
- INERA, 2010. La situation de diffusion des NERICA et stratégie de production et de distribution des semences de riz au Burkina Faso. Station de Farako-Bâ, BP 910 Bobo-Dioulasso. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 45 p.
- IRRI, 2002. Standard Évaluation System for Rice (SES). Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Lagunas, Philippines. 1-65p.
- Gnago A.J., Kouadio K.T., Tia V.E., Kodro A.P., Goulivas A.V. 2017. Évaluation de deux variétés de riz (CK73 et CK90) à la toxicité ferreuse et à quelques contraintes biotiques à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 112: 11035-11044p

- Guinko S., 1984. Végétation de Haute Volta. Thèse de Doctorat d'état, Université de Bordeaux III (France), 145 p.
- Kaboré B. W. E., 2019. Caractérisation agromorphologique de dix-huit (18) accessions de riz et cultivées en milieu paysan dans la région des cascades ; Mémoire de fin cycle pour obtenir le diplôme de master en sciences biologiques appliquées, spécialité sélection et conservation des semences. Université Joseph KI ZERBO. 54p
- Kassankogno A. I, Ouedraogo I, Adreit H., Milazzo J., Ouedraogo L., Sankara P. et Tharreau D. 2016. Analyse de la diversité génétique des isolats de *Magnaporthe oryzae* du Burkina Faso et du Togo par les marqueurs microsatellites (SSRs). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(5) : 2259-2267
- Konate K. A., 2012. Criblage de variétés du riz africain *O. Glaberrima* pour la résistance à la toxicité ferreuse sur le périmètre rizicole de la Vallée du Kou. Mém. de fin d'étude. Master en protection et amélioration des plantes, Univ. de Ouagadougou (Burkina Faso). 60 p.
- Konaté K. A., 2017. Identification des mécanismes physiologiques et génétiques intervenant dans la tolérance à la sécheresse à partir de l'évaluation de caractères secondaires : cas du riz de bas – fond. Thèse de doctorat de l'université d'Abomey – Calavi au Bénin. Spécialité, science de la vie ; option génétique et amélioration des plantes. N 133. 139p
- Koné B. A., 2010. Évaluation de la tolérance de variétés de riz à la toxicité Ferreuse et aux ravageurs (insectes et maladies) sur les périmètres rizicoles de Banfora (Bas-fond) et de la vallée du Kou (irrigue) et tests de sélection variétale participative. Institut du Développement Rural, 01 B.P. 091 Bobo Dioulasso 01. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso. 72 p.
- Robinson H.F., 1966. Quantitative genetics in relation to breeding on the centennial of Mendelism. *Indian Journal of Genetics*, 171-187p
- Sanou A., 2019. Contribution de la sélection variétale et du système de culture à la lutte intégrée contre les mauvaises herbes en riziculture au Burkina Faso. Thèse de doctorat unique de l'université en développement rural de l'université Nazi Boni, option système de production végétal, spécialité malherbologie. 162p
- Sanou G., Dakouo D. et Ouedraogo I., 2017. Influence du Système de Riziculture Intensif (SRI) sur les attaques des principaux déprédateurs dans les périmètres rizicoles irrigués de Karfiguela et de la vallée du Kou au Burkina Faso. *Agronomie Africaine Sp.* 134p
- Séréme D. Neya J.B., Bangratz M., Brugidou C. et Ouedraogo I. (2014). First report of rice strip necrosis virus infecting rice in Burkina Faso. *Plant Disease*, 98 : 1451
- Sié A. R. B. P., 2019. Caractérisation agromorphologique de 38 accessions de riz local (*Oryza sativa L.* et *Oryza glaberrima Steud*) au Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle, en vue d'obtenir le diplôme de master en Sélection et Valorisation des Ressources Phytogénétiques. Université Joseph KI ZERBO. 46p
- Sie M., Sere Y., Sanyang S., Narteh L.T., Dogbe S., Coulibaly M. M., Sido A., Cisse F., Drammeh E., Ogunbayo S. A. and Zadj L., 2008. Regional Yield Evaluation of the Interspecific Hybrids (*O. glaberrima* x *O. sativa*) and Intraspecific (*O. sativa* x *O. sativa*)

- Lowland Rice. Asian Journal of Plant Sciences. 130-139 p
- Sikirou M., Saito K., Achigan-Dako E. G., Dramé K. N., Adam A. et Venuprasad R., 2015. Genetic improvement of iron toxicity tolerance in rice progress, challenges and prospects in West Africa.
- SNDR, 2020. Deuxième génération de la stratégie nationale de développement de la riziculture 2021 – 2030, Burkina Faso. 60p
- Thio B., Ouedraogo L.S., Sanou E., Sankara P., et Kiemdé S. 2017. Les nématodes parasites associés au riz dans trois (03) principales écologies rizicoles au Burkina Faso. *International journal of Biological and chemical Sciences*. 5p
- Traoré B., 2016. Evaluation du gain de rendement de nouvelles variétés de riz en condition de toxicité ferreuse au Burkina Faso : cas du périmètre irrigué de la Vallée du Kou. Diplôme d'ingénieur du développement rural, option Agronomie ; Université polytechnique de Bobo-Dioulasso. 41p
- Traore O., pinel galzi A., Sorgo F., Sarra S., Rakotomalala M., Sangu E., Kanyeka Z., Sere Y., Konate G., Arguette D., 2009. A reassessment of the epidemiology of *Rice Yellow Mottle Virus* following recent advances in field and molecular studies. *ITirus Research* 141. 258-267
- Wonni, I., Cottyn, B., Detemmerman, L., Dao, S., Ouedraogo, L., Sarra, S., Tekete, C., Poussier, S., Corral, R., Triplett, L., Koita, O., Koebnik, R., Leach, J., Szurek, B., Maes, M. and Verdier, V. 2014. Analysis of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola* population in Mali and Burkina Faso reveals a high level of genetic and pathogenic diversity. *Phytopathology* 104 (5) :520-31.
- Yamauchi M., 1989. Rice bronzing in Nigeria caused by nutrient imbalances and its control by potassium sulfate application. *Plant Soil*, 117. 275-286p.