

UNIVERSITE DU BURUNDI

EAST AFRICAN NUTRITIONAL SCIENCES INSTITUTE (EANSI)

MASTER EN SCIENCES DES ALIMENTS ET NUTRITION

Option : Sécurité Alimentaire et Changement Climatique



**EVALUATION DU RENDEMENT ET DE LA TOLERANCE AU
STRESS DE DEFICIT HYDRIQUE DE NEUF LIGNEES DE RIZ**

(Oryza sativa L.)



Par :

Jean Claude IRAKOZE

Sous la direction de :

Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE

Prof. Dr. Prudence BARARUNYERETSE

Ir. Jean Berchmans BIZIMANA, MSc.

Mémoire présenté et défendu
publiquement en vue de l'obtention du
Diplôme de Master en Sciences des
Aliments et Nutrition

Bujumbura, Janvier 2025

IDENTIFICATION DES MEMBRES DE JURY

Président : Prof. Salvator KABONEKA

Secrétaire : Dr. Ir. Déo NDIKUMANA

Membre : Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE (Directeur de mémoire)

Membre : Prof. Dr. Prudence BARARUNYERETSE (Co-directeur de Mémoire)

Membre : Ir. Jean Berchmans BIZIMANA, MSc. (Co-directeur de Mémoire)

DEDICACE

A Dieu Tout Puissant ;

A Mes chers parents ;

A Mes Frères et Sœurs ;

A tous ceux qui me sont chers ;

Je dédie ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, l'honneur m'échoie d'exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué à son aboutissement. Mes sincères remerciements s'adressent d'abord à Dieu Tout Puissant qui m'a gardé jusqu'à présent. Sans Lui, rien n'aurait été accompli.

Une mention spéciale est ensuite adressée à Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE, Doyen de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI), et à Prof. Dr. Prudence BARARUNYERETSE, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi (UB), pour leur rôle de promoteurs et encadreurs de ce mémoire.

Mes sentiments de remerciement s'adressent également à Dr. Ir. Joseph BIGIRIMANA, Représentant Légal de l'Institut International de Recherche sur le Riz (IRRI au Burundi, qui a accepté de m'accueillir dans cette institution durant la période d'exécution de mes activités de mémoire. Qu'il me soit également permis d'adresser mes sentiments de gratitude envers Ir. Jean Berchmans BIZIMANA, MSc., chercheur à l'IRRI, et Ir. Ménédore NDAGIJIMANA, pour leur assistance technique au cours du travail de terrain. Leur expérience professionnelle, leurs riches conseils, leur aimable collaboration et leur encouragement m'ont été d'une importance capitale dans la réalisation de ce mémoire.

A la Banque d'Afrique pour le Développement (BAD) qui a financé mon travail de recherche, à tous mes éducateurs depuis l'école primaire jusqu'à l'Université en général et tous les professeurs du PA-EANSI en particulier pour leur contribution à ma formation intellectuelle, je dis sincèrement merci.

Je suis également reconnaissant envers les membres du jury qui ont accepté de lire et d'évaluer ce mémoire malgré leur charge de travail. Leur contribution est grandement appréciée.

Je suis très reconnaissant des efforts et appui de ma famille et ceux de mes connaissances qui m'ont assisté pendant toute la période de rédaction de mon mémoire. Qu'ils trouvent tous une réelle satisfaction dans le succès de ce travail.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers mes camarades de promotion pour les encouragements et les échanges enrichissants que nous avons partagés tout au long de mon parcours étudiant, sans oublier toutes les personnes qui ne sont pas citées ici mais qui, d'une manière générale ont contribué pour la réussite de ce mémoire.

Que ce mémoire soit une satisfaction pour tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

RESUME

La sécheresse est un facteur majeur affectant la culture du riz. Cette recherche visait à évaluer le rendement et la tolérance au stress hydrique de neuf lignées de riz en stade F6, issues du croisement entre SUPA KATRIN et IR 108044-B-B-B-3-B-B. Les témoins, IR64 (sensible) et IR05 N221 (KOMBOKA) (tolérant à la sécheresse), ont également été utilisés.

L'essai a été réalisé au centre de recherche IRRI-Gihanga avec un dispositif en blocs complètement randomisés et trois répétitions. La culture des lignées testées a été conduite sous irrigation normale et sous stress de déficit hydrique. L'analyse statistique par analyse de la variance a permis d'évaluer le niveau de tolérance au stress hydrique des variétés testées.

Les résultats obtenus ont montré que les lignées IR24E4717, IR24E4728 et IR24E4684 présentent des rendements en grains très élevés, comparables à ceux de la variété tolérante IR05N221 (KOMBOKA).

En revanche, les lignées IR24E4718, IR24E4726, IR24E4727 et IR24E4696 ont montré une sensibilité accrue au stress hydrique, comparable à celle de la variété témoin sensible IR64. En tant que témoin sensible, IR64 présente une réduction significative de la hauteur et du rendement sous stress, ce qui indique une forte sensibilité.

Ces résultats constituent une base précieuse pour sélectionner des lignées adaptées aux environnements soumis au stress hydrique, renforçant ainsi la résilience agricole du Burundi. L'identification de lignées performantes ouvre des perspectives prometteuses pour réduire la dépendance aux importations de riz et consolider la sécurité alimentaire dans un contexte de changement climatique.

Mots clés : Riz, stress hydrique, rendement, tolérance et résilience

ABSTRACT

Drought is a major factor affecting rice cultivation, potentially leading to yield losses of up to 100% under extreme conditions. This research aimed to evaluate the yield and drought stress tolerance of nine F6 rice lines, derived from the cross between SUPA KATRIN and IR 108044-B-B-B-3-B-B, along with two controls, to identify suitable genotypes.

The trials were conducted at the IRRI-Gihanga research center using a randomized complete block design with three replications, testing various rice lines under normal irrigation and drought stress conditions. Statistical analysis was employed to assess drought stress tolerance utilizing analysis of variance.

The results showed that the IR24E4717, IR24E4728, and IR24E4684 lines exhibited high grain yields comparable to the tolerant control variety IR05 N221 (KOMBOKA). On the other hand, the IR24E4718, IR24E4726, IR24E4727, and IR24E4696 lines demonstrated increased sensitivity to water stress, similar to the sensitive control IR64. As a sensitive control, IR64 shows a significant reduction in height and yield under stress, indicating high sensitivity.

These results provide a valuable foundation for selecting lines suited to environments subjected to drought stress, thereby enhancing agricultural resilience in Burundi. The identification of high-performing lines opens promising prospects for reducing dependence on rice imports and strengthening food security in the context of climate change.

Keywords: Rice, drought stress, yield, tolerance, and resilience.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DE JURY	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	ix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	x
AVANT-PROPOS	xi
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE	1
I.1. Contexte et justification	1
I.2. Hypothèses de la recherche	4
I.3. Objectifs de la recherche	4
I.4. Intérêt de cette étude	4
I.5. Structure du travail	5
I.6. Délimitation du sujet	5
CHAPITRE II. REVUE DE LA LITTERATURE SUR LE RIZ.....	6
II.1. Importance de la riziculture au Burundi	6
II.1.1. Place de la riziculture dans la production agricole.....	6
II.1.2. Evolution de la production rizicole	7
II.1.3. Evolution de la consommation du riz.....	8
II.2. Contraintes de la riziculture au Burundi	8
II.2.1. Contraintes biotiques.....	8
II.2.2. Contraintes environnementales et édaphiques	9
II.2.2.1. Toxicité des sols	9
II.2.2.2. Salinité des sols	10
II.2.2.3. Carences nutritionnelles des sols.....	10
II.2.3. Contraintes économiques	10
II.2.4. Contraintes technologiques	10
II.2.5. Exigences édapho-climatiques du riz.....	11
II.2.5.1. Conditions climatiques	11

II.2.5.2. Exigences édaphiques	12
II.3. Contraintes de la riziculture	13
II.4. Tolérance au stress hydrique.....	14
II.4.1. Concept de stress hydrique.....	14
II.4.2. Mécanisme de tolérance au stress hydrique	14
II.4.3. Etudes antérieures sur la tolérance au stress hydrique	15
II.4.4. Amélioration variétale.....	15
II.4.5. Sélection de variétés tolérantes au stress hydrique	15
II.5. Techniques de croisement et de génétique moléculaire.....	16
II.6. Adoption et diffusion des variétés améliorées	16
II.7. Variétés diffusées tolérantes contre le stress hydrique	16
II.7.1. Variété NERICA (New Rice for Africa)	17
II.7.2. Variété japonaise	17
II.7.3. Variété L19.....	17
II.7.4. Autres variétés localement adaptées	17
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES	18
III.1. Description de la zone d'étude	18
III.2. Matériel végétal utilisé	19
III.3. Dispositif expérimental et conduite de l'expérimentation.....	19
III.4. Collecte des données	20
III.4.1. Caractéristiques du sol	20
III.4.2. Paramètres de croissance du riz	20
III.4.3. Scores de tolérance ou de sensibilité au stress de déficit hydrique.....	21
III.4.4. Rendement du riz et ses composantes.....	21
III.4.5. Caractéristiques des grains.....	22
III.4.6. Calcul des indices de tolérance au stress de déficit hydrique	22
III.5. Analyses des données	24
CHAPITRE IV : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	25
IV.1. Présentation des résultats.....	25
IV.1.1. Caractéristiques du sol.....	25
IV.1.2. Paramètres de croissance et du rendement des lignées testées	26
IV.1.2.1. Hauteur moyenne des plants	26
IV.1.2.2. Tallage moyen des plants.....	27

IV.1.2.3. Paramètres du rendement	28
IV.1.2.3.1. Longueur moyenne des panicules et le poids moyen de mille grains	28
IV.1.2.3.2. Longueur moyen et largeur moyen des grains	29
IV.1.2.3.3. Le nombre moyen des panicules et le rendement moyen par hectare des grains	30
IV.1.3. Paramètres de tolérance du riz au déficit hydrique.....	32
IV.1.3.1. Indicateurs qualitatifs de sensibilité au stress de déficit hydrique	32
IV.1.3.2. Indicateurs quantitatifs de tolérance au stress hydrique.....	33
IV.2. Discussion des résultats.....	35
IV.2.1. Hauteur moyenne des plants	35
IV.2.2. Tallage moyen des plants.....	37
IV.2.3. Paramètres du rendement.....	38
IV.2.3.1. Longueur moyenne des panicules et le poids moyen de mille grains.....	38
IV.2.3.2. Longueur moyen et largeur moyen des grains	39
IV.2.3.3. Le nombre moyen des panicules et le rendement moyen en tonnes / ha des grains	39
IV.2.4. Indicateurs qualitatifs de sensibilité au stress de déficit hydrique.....	41
IV.2.5. Indicateurs quantitatifs de tolérance à la sécheresse.....	41
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES
Tableaux

Tableau 1: Température et leurs effets sur les différents stades de croissance du riz.....	12
Tableau 2: Données climatologiques prévaluées pendant toute la période de l'essai.	18
Tableau 3: Description des lignées utilisées	19
Tableau 4: Scores liées au stress de déficit hydrique	21
Tableau 5 : Hauteur des plants des neuf lignées de riz testées (cm)	26
Tableau 6 : Nombre moyen de talles des neuf lignées de riz testées	27
Tableau 7 : Longueur moyen des panicules et poids moyen de mille grains des neuf lignées de riz testées	29
Tableau 8 : Longueur moyen et largeur moyen des grains des neuf lignées de riz testées	30
Tableau 9 : Le nombre moyen des panicules et le rendement moyen en tonnes / ha des grains des neuf lignées de riz testées	32
Tableau 10 : Score d'enroulement et de séchage des feuilles	33
Tableau 11 : Rendement en grains et indices de tolérance au déficit hydrique des lignées de riz testées en réponse au stress de déficit hydrique et en condition irriguée	35

Figures

Figure 1: Evolution de la production du riz en tonnes de 2014 à 2022.....	7
Figure 2: Localisation du site de l'expérimentation.....	18
Figure 3 : Représentation du sol du site d'essai (E) sur le triangle texturale du USDA.....	25

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ADPS	: Analyse de Développement des Plantes et du Sol
CEPGL	: Communauté Economique des Pays des Grands Lacs.
DDL	: Degré de Liberté
EANSI	: Centre d'Excellence Sous Régional en Sciences de la Nutrition
CE	: Conductivité Electrique
FABI	: Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie
FACAGRO	: Faculté d'Agronomie
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GIC	: Gestion Intégrée des Cultures
FIDA	: Fonds International de Développement Agricole
IRRI	: Institut International de Recherche sur le Riz
ISABU	: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
JAR	: Jours Après Repiquage
LAI	: Indice de Surface Foliaire
MINEAGRIE	: Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage
NERICA	: New Rice for Africa
NPK	: Azote, Phosphore et Potassium
NT	: Nombre de Talles
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
PAM	: Programme Alimentaire Mondiale
PARM	: Partenariat pour l'Agriculture et la Résilience des Ménages
pH	: Potentiel d'hydrogène
PMG	: Poids de Mille Grains
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
POS	: Procédure Opérationnelle Standard
RCBD	: Blocs Complets Randomisés
RG	: Rendement en grains
SPAD	: Analyse de Développement des Plantes et du Sol
T/ha	: Tonnes par hectare
TRB	: Transformation de la Sélection du Riz
TRE	: Teneur Relative en Eau
UB	: Université du Burundi
UN	: Nations Unis
USDA	: Département de l'Agriculture des Etats-Unis
WHO	: Organisation Mondiale de la Santé

AVANT-PROPOS

La riziculture constitue un pilier fondamental de la sécurité alimentaire au Burundi, où le riz est non seulement un aliment de base, mais aussi une source de revenus pour de nombreuses familles. Cependant, les défis posés par le changement climatique, en particulier la sécheresse, menacent gravement cette culture essentielle. Dans un pays où les ressources hydriques sont souvent limitées et où les variations climatiques sont de plus en plus fréquentes, il est crucial de développer des variétés de riz capables de résister à des conditions de stress hydrique.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ma recherche, qui vise à évaluer le rendement et la tolérance au stress du déficit hydrique de neuf lignées de riz issues du croisement entre SUPA KATRIN et IR108044-B-B-B-3-B-B. Mon choix de ce sujet découle de l'urgence de trouver des solutions durables pour améliorer la résilience de la production rizicole face aux défis environnementaux croissants. En identifiant des génotypes adaptés, cette étude pourrait contribuer à renforcer la sécurité alimentaire et à réduire la dépendance du Burundi aux importations de riz.

Les résultats de cette recherche sont d'une importance capitale, car ils fournissent des informations précieuses pour les agriculteurs, les chercheurs et les décideurs politiques. En intégrant des pratiques de sélection variétale basées sur la tolérance au stress, nous pouvons espérer améliorer la productivité agricole dans un contexte de changement climatique, tout en préservant les ressources naturelles.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

I.1. Contexte et justification

Le riz (*Oryza sativa L.*) constitue un pilier alimentaire pour près de la moitié de la population mondiale et revêt une importance cruciale dans la sécurité alimentaire. Avec une consommation annuelle moyenne dépassant 100 kg par individu, le riz joue un rôle prépondérant dans l'alimentation humaine (Chun *et al.*, 2020).

Le riz est la troisième céréale la plus cultivée au monde, après le maïs (*Zea mays*), qui occupe la première place, et le blé (*Triticum aestivum*), qui est en deuxième position. Il se classe également au deuxième rang des céréales les plus consommées à l'échelle mondiale, juste derrière le blé (Sanchez, 2022).

Cette culture revêt une importance capitale pour plus de 3,5 milliards de personnes vivant dans les pays en développement, qui en dépendent pour leur sécurité alimentaire (Diagne et Demont, 2022).

En Afrique, il joue un rôle crucial dans l'alimentation, représentant plus de 25 % du total des céréales consommées, ce qui le place au deuxième rang derrière le maïs (FAO, 2022).

Au sein des Etats membres de la Communauté Economique des Pays des Grands Lacs (CEPGL) à savoir le Burundi, la République Démocratique du Congo et le Rwanda, plus d'un quart de la demande en riz est couvert par des importations, en raison d'une offre intérieure jugée insuffisante (Furaha, 2017).

Pour relever ce défi, le Burundi a élaboré en 2014 une stratégie nationale de développement de la filière riz. Cette stratégie a pour objectifs de garantir un approvisionnement stable en riz, de diminuer, voire d'éliminer les importations, et de combler de manière significative le déficit en céréales (Munyaneza, 2020).

Le gouvernement du Burundi a défini le riz comme une culture prioritaire en raison de son rôle crucial dans la garantie de la sécurité alimentaire et de l'autosuffisance alimentaire, ainsi que de son potentiel de production et de commercialisation sur le marché national.

Cette orientation stratégique a conduit à une augmentation notable des superficies consacrées à la culture du riz, qui sont passées de 30 711 hectares en 2012 à 80 000 hectares en 2023 (MINEAGRIE, 2023).

=====

Selon les politiques agricoles adoptées par le gouvernement et les initiatives de soutien au secteur, ces superficies étaient projetées pour atteindre près de 100 000 hectares en 2024 (FAO, 2023).

Les conclusions d'une étude sur les impacts environnementaux des pratiques rizicoles en vigueur au Burundi ont révélé que l'expansion de la riziculture a eu des effets néfastes sur certaines espèces. Divers risques et dommages environnementaux ont été observés, notamment une augmentation de l'érosion du sol due au labour et la perturbation de certains habitats naturels. L'usage intensif des produits chimiques a notamment affecté des espèces végétales comme *Cyperus papyrus* (papyrus) et des animaux tels que *Apis mellifera* (abeille), le tilapia et les aigrettes, qui dépendent de ces écosystèmes pour leur alimentation (Nusura *et al.*, 2013) Malgré l'expansion de la riziculture au Burundi, l'offre intérieure reste insuffisante pour répondre entièrement à la demande, obligeant le pays à continuer ses importations de riz, principalement depuis l'Asie et la Tanzanie. Entre 2003 et 2018, les importations de riz par le Burundi ont considérablement augmenté. En 2018, le pays a importé environ 15,6 millions de kilogrammes de riz, principalement en provenance du Pakistan, du Japon et de la Tanzanie (World Bank, 2023 ; World Integrated Trade Solution, 2023 ; International Rice Research Institute, 2023).

En comparaison, les données historiques révèlent que les importations étaient beaucoup plus faibles dans les années 1990. En 1995, environ 5 millions de kilogrammes de riz avaient été importés, un chiffre nettement inférieur à celui observé ces dernières années (FAO, 2022).

La production de riz au Burundi est confrontée à plusieurs défis, parmi lesquels une productivité relativement faible, due à des contraintes biotiques et abiotiques, ainsi qu'à un accès limité aux technologies et aux intrants modernes (Andriatsiorimanana *et al.*, 2023).

Il faut noter que la sécheresse représente l'un des stress abiotiques majeurs affectant la culture du riz, pouvant entraîner des pertes de rendement atteignant jusqu'à 100% dans des conditions de sécheresse sévère (Ndjiondjop *et al.*, 2010, Moonmoon et Islam, 2017, Gao *et al.*, 2019 ; Lavane *et al.*, 2023). Cependant, ces dernières années, il est devenu de plus en plus évident que la génétique des cultures a également joué un rôle crucial dans l'amélioration de la résilience des plantes face à des conditions de stress hydrique (Anning *et al.*, 2018 ; Merza et Alsharifi, 2023).

Pour pallier au déficit hydrique global résultant de la mauvaise répartition des précipitations, une approche consiste à sélectionner des variétés capables de tolérer les périodes de sécheresse.

Les variétés sélectionnées pour leur résistance aux stress biotiques et abiotiques jouent un rôle crucial et représentent un facteur déterminant dans l'amélioration de la productivité agricole (Kumar *et al.*, 2021 ; Rezvi *et al.*, 2023).

Au Burundi, l'utilisation de variétés de riz sélectionnées pour leur résistance aux stress biotiques et abiotiques est encore limitée. Pour remédier à cette problématique, l'IRRI-Burundi, en collaboration avec l'ISABU, mène des essais participatifs afin d'évaluer différentes variétés de riz en termes de croissance, de productivité, et de résistance aux stress biotiques et abiotiques (IRRI, 2022).

Selon les études réalisées par l'IRRI Burundi, la lignée IR 108044-B-B-B-3-B-B présente des loci majeurs de caractère quantitatif, notamment *qDTY2.2*, conférant une tolérance à la sécheresse. Cette lignée offre ainsi un potentiel pour l'amélioration des variétés privilégiées au Burundi (Ndikuryayo *et al.*, 2023).

Malgré de nombreuses études visant à trouver des solutions aux problèmes engendrés par la sécheresse, aucune variété dotée de cette caractéristique n'est largement répandue dans les zones rurales à ce jour. Ainsi, cette recherche vise à évaluer la tolérance au stress hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa*) et en termes de rendement les lignées de riz en stade F6 issues du croisement entre la variété SUPA KATRIN et IR108044-B-B-B-3-B-B.

L'étude conduite par NDIKURYAYO et collaborateurs (2023) a déjà permis d'identifier des génotypes présentant des loci de caractères quantitatifs (SUPA KATRIN et IR 108044-B-B-B-3-B-B) associés à une tolérance à la sécheresse. Notre étude quant à elle, contribuera à l'identification de lignées de riz adaptées aux conditions de stress hydrique. Cette contribution pourrait jouer un rôle crucial dans la garantie de la sécurité alimentaire et dans le renforcement de la résilience agricole au Burundi.

I.2. Hypothèses de la recherche

Pour guider cette étude, deux hypothèses fondamentales ont été formulées :

Hypothèse 1 : Les lignées du riz issues du croisement entre les variétés SUPA KATRIN et IR108044-B-B-B-3-B-B présentent une tolérance significative au stress hydrique.

Hypothèse 2 : Ces mêmes lignées démontrent un rendement satisfaisant même en conditions de stress hydrique.

I.3. Objectifs de la recherche

• Objectif global

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer le rendement et la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz : IR24E4696, IR24E4717, IR24E4718, IR24E4684, IR24E4726, IR24E4727 et IR24E4728, ainsi que deux témoins : IR64 (sensible au stress) et IR05N221 (KOMBOKA, tolérant).

• Objectifs spécifiques

Pour atteindre cet objectif global, les objectifs spécifiques suivants ont été définis :

- ✓ Effectuer une analyse phénotypique comparative des différentes lignées de riz issues du croisement ;
- ✓ Evaluer le rendement des lignées de riz dans des conditions de stress de déficit hydrique et non stressantes ;
- ✓ Evaluer le degré de tolérance au stress de déficit hydrique des lignées de riz issues du croisement.

I.4. Intérêt de cette étude

La justification de cette étude réside dans la nécessité de déterminer les performances des différentes lignées de riz issues du croisement entre les variétés SUPA KATRIN et IR108044-B-B-B-3-B-B, à la fois dans des conditions irriguées et non irriguées, ainsi que leur tolérance au stress abiotique.

Les conclusions tirées de cette recherche faciliteront l'identification des lignées les plus adaptées à des sites présentant des conditions de stress de déficit hydrique similaires tout en maintenant des rendements satisfaisants malgré les contraintes environnementales telles que la sécheresse.

I.5. Structure du travail

Ce mémoire est organisé en cinq parties principales : une introduction, suivie de trois chapitres clairement définis, et une conclusion accompagnée de recommandations.

Chap. 1. Introduction : Présentation du contexte, de la problématique, des objectifs et de la justification de l'étude.

Chap. 2. Revue de la littérature : Analyse des travaux précédents sur la filière riz, mettant en lumière les avancées scientifiques et les lacunes à combler.

Chap. 3. Matériels et méthodes : Description des outils, des techniques et des démarches méthodologiques employées pour collecter et analyser les données.

Chap. 4. Résultats et discussion : Présentation des résultats obtenus, suivie d'une discussion critique visant à interpréter les données et à les comparer aux études antérieures.

Chap. 5. Conclusion et recommandations : Synthèse des principaux enseignements de l'étude, identification des perspectives et formulation de recommandations pour les décideurs et les acteurs du secteur rizicole.

I.6. Délimitation du sujet

Cette recherche a été menée dans la plaine de l'Imbo, plus précisément dans la commune de Gihanga, située dans la province de Bubanza.

Les essais expérimentaux pour évaluer la phénotypie et le rendement des lignées de riz (*O. sativa L.*) cultivées dans des conditions de stress de déficit hydrique ont été conduits au sein du centre IRRI-Gihanga, établi dans la commune de Gihanga, province de Bubanza.

Le cadre temporel de cette recherche s'étend sur une période de quatre mois, débutant en octobre 2023 et se terminant en février 2024. Cette durée a permis de mener à bien toutes les phases de l'expérimentation, de la préparation des dispositifs expérimentaux à la collecte et à l'analyse des données.

CHAPITRE II. REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LE RIZ

II.1. Importance de la riziculture au Burundi

II.1.1. Place de la riziculture dans la production agricole

Au Burundi, le riz (*Oryza sativa L.*) joue un rôle crucial dans le secteur agricole, contribuant de manière significative à la sécurité alimentaire et aux moyens de subsistance des agriculteurs. Bien que le maïs (*Zea mays*), les haricots (*Phaseolus vulgaris*) et la patate douce (*Ipomoea batatas*) soient également des cultures majeures, le riz est particulièrement important pour l'économie nationale. Il est principalement cultivé dans les basses terres, où les conditions sont plus favorables, notamment dans les plaines de l'Imbo et de Kumoso, qui sont des zones rizicoles clés du pays (FAO, 2022).

En termes de rendements, le riz présente des variations significatives selon les zones agro-écologiques et les infrastructures disponibles. Le rendement moyen national, estimé à 3 tonnes par hectare, reste relativement faible par rapport aux standards internationaux, ce qui reflète la performance globale des différentes variétés et systèmes de production au Burundi. (MINEAGRIE, 2021).

Dans les plaines de basse altitude comme l'Imbo, où la riziculture irriguée est largement pratiquée, les rendements sont plus élevés, variant entre 4 et 7 tonnes par hectare grâce à une gestion optimale de l'eau et l'utilisation de semences améliorées (FAO, 2021).

Dans les marais de moyennes altitudes situées dans les provinces du Nord, du Centre et de l'Est, les rendements oscillent entre 3 et 5 tonnes par hectare, dépendant des infrastructures hydroagricoles et des pratiques culturelles (ISABU, 2022).

En raison de son rendement élevé et de sa contribution à la sécurité alimentaire, la riziculture est devenue une priorité pour de nombreuses familles rurales.

Selon le Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage du Burundi, environ 20 % des terres arables sont consacrées à la riziculture, ce qui souligne l'importance stratégique de cette culture dans la rotation des cultures et la diversification des revenus agricoles (MINEAGRIE, 2020).

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa L.*)

Toutefois, bien que ces 20 % montrent un certain investissement dans la riziculture, la superficie totale des terres irriguées en Burundi est encore faible par rapport au potentiel national de 123 317 ha, dont seulement 16 714 ha ont été aménagés en zones irriguées grâce à des programmes de développement financés par le FIDA (PARM, 2022).

Cette culture est essentielle pour la diversification des revenus des petits exploitants agricoles et pour la stabilité économique des régions rurales (FIDA, 2020).

II.1.2. Evolution de la production rizicole

La production rizicole au Burundi a connu une croissance substantielle au cours des dernières décennies. Entre 2000 et 2020, la production de riz a plus que doublé, passant de 50 000 tonnes à environ 110 000 tonnes par an. Cette augmentation est en grande partie attribuée aux efforts du gouvernement et des ONG pour améliorer les techniques de culture, y compris l'introduction de variétés de riz à haut rendement et la promotion de l'irrigation dans les zones propices à la riziculture (FAO, 2021).

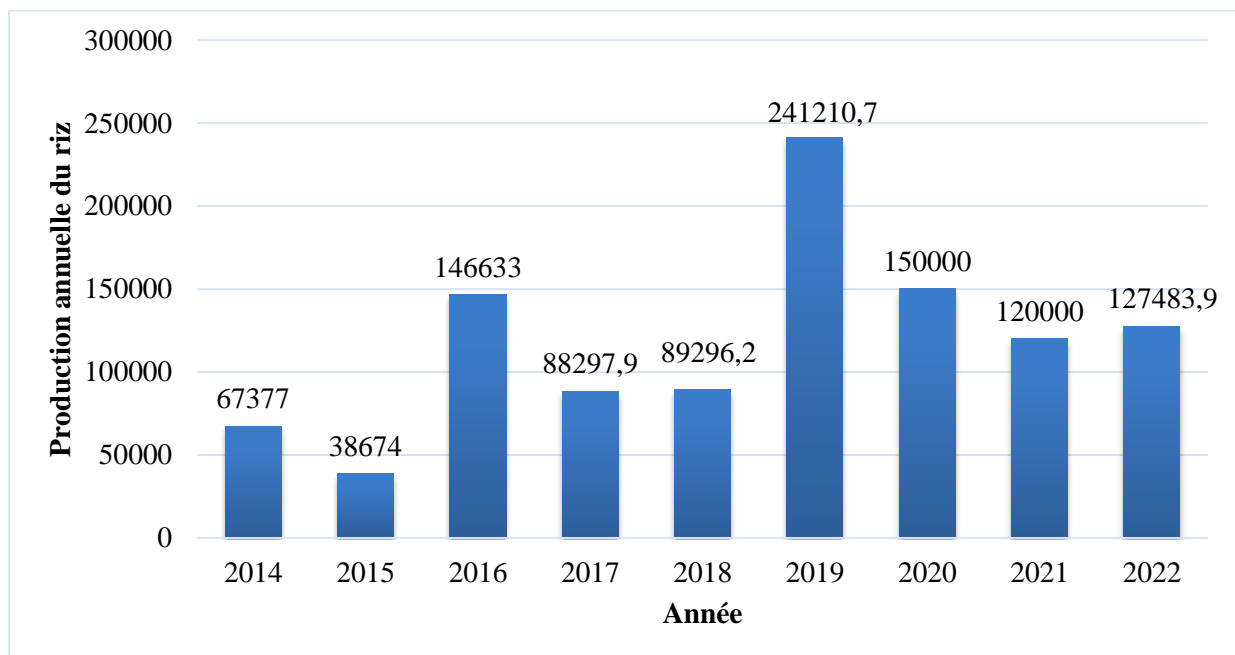


Figure 1: Evolution de la production du riz en tonnes de 2014 à 2022

Malgré ces progrès, la production reste encore en deçà du potentiel national en raison de divers défis environnementaux et économiques (IFAD, 2020).

II.1.3. Evolution de la consommation du riz

Le riz est devenu une composante essentielle du régime alimentaire au Burundi, où il est de plus en plus consommé en milieu urbain et rural. En 1990, la consommation annuelle de riz par habitant était d'environ 10 kg, mais elle a depuis augmenté pour atteindre environ 30 kg en 2020 (PAM, 2023).

Cette hausse de la consommation est en partie due à la croissance démographique, à l'urbanisation et aux changements dans les habitudes alimentaires. Le riz, autrefois considéré comme un produit de luxe, est désormais un aliment de base accessible à une plus grande partie de la population, ce qui reflète son rôle croissant dans la sécurité alimentaire nationale (INSBU, 2023).

II.2. Contraintes de la riziculture au Burundi

La riziculture au Burundi, malgré son importance croissante, est confrontée à plusieurs défis qui limitent son potentiel de développement. Ces contraintes sont entre autres : biotiques, environnementales et édaphiques, économiques, technologiques.

II.2.1. Contraintes biotiques

Les contraintes biotiques regroupent l'ensemble des pressions exercées par les organismes vivants (pathogènes, ravageurs et mauvaises herbes) sur la culture du riz, particulièrement en condition de stress hydrique. Le stress hydrique aggrave souvent les effets des contraintes biotiques en affaiblissant les mécanismes de défense de la plante. Parmi les maladies fongiques, la pyriculariose (*Magnaporthe oryzae*) est l'une des plus destructrices. Sous stress hydrique, les plants sont plus vulnérables en raison d'une croissance ralentie et d'une baisse des métabolites secondaires impliqués dans les défenses naturelles. De plus, l'helminthosporiose (*Bipolaris oryzae*) voit sa sévérité accentuée par les périodes sèches suivies d'humidité (Mahmud *et al.*, 2021).

En ce qui concerne les ravageurs, la cécidomyie du riz (*Orseolia oryzivora*) exploite la faiblesse des plants stressés, qui produisent moins de phénols, favorisant ainsi leur colonisation. Les foreurs de tiges (*Scirpophaga incertulas*) tirent également avantage du stress hydrique en affaiblissant la vigueur des plants, augmentant leur vulnérabilité aux larves qui minent les tiges (Kumar *et al.*, 2021).

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

Les mauvaises herbes posent également un problème accru en condition de stress hydrique. La compétition pour l'eau devient plus intense entre le riz et des adventices telles que *Echinochloa crus-galli* et *Cyperus rotundus*, qui possèdent souvent une meilleure résilience au stress hydrique (Chauban et Johnson, 2018).

Les bactéries et virus profitent également des conditions de stress. La bactériose à *Xanthomonas oryzae* (brûlure bactérienne du riz) voit ses symptômes aggravés par la diminution des réserves hydriques nécessaires à la défense cellulaire (Singh et al., 2019).

De plus, le virus de la panachure jaune du riz (*Rice Yellow Mottle Virus*, RYMV) est plus agressif dans les conditions de faibles ressources hydriques, car les plantes montrent une diminution des réponses immunitaires (Konaté et al., 2021)

Pour contrer ces contraintes, des stratégies telles que la sélection de variétés tolérantes, combinant résistance au stress hydrique et aux pathogènes, ainsi que la gestion intégrée des cultures (GIC), s'avèrent essentielles.

II.2.2. Contraintes environnementales et édaphiques

Le Burundi est sujet à des variations climatiques importantes, qui affectent directement la riziculture. La disponibilité et la gestion de l'eau sont des problèmes majeurs, en particulier pour la riziculture irriguée. Les périodes de sécheresse prolongées, alternées avec des inondations, perturbent le cycle de culture du riz. Ces phénomènes sont exacerbés par le changement climatique, qui a entraîné une plus grande imprévisibilité des saisons et des conditions météorologiques (FAO, 2021).

En plus de ces défis, les contraintes édaphiques, telles que la toxicité, la salinité et les carences nutritionnelles des sols, aggravent les difficultés de la production rizicole.

II.2.2.1. Toxicité des sols

Dans certaines régions rizicoles du Burundi, les sols présentent une accumulation de métaux tels que l'aluminium et le fer, en raison de leur nature acide et de leur saturation en eau. Les sols ferrallitiques, fréquents dans les zones de basses terres, deviennent toxiques pour les plants de riz en condition d'anoxie. Cette toxicité se manifeste par un ralentissement de la croissance racinaire, une diminution de l'absorption des nutriments essentiels, et une réduction du rendement (Ladha et al., 2021).

II.2.2.2. Salinité des sols

Bien que le Burundi soit un pays principalement enclavé avec peu de zones naturellement salines, la salinisation peut survenir dans les régions rizicoles irriguées mal drainées, notamment autour des marais et bas-fonds. L'accumulation progressive de sels dans les sols perturbe l'équilibre osmotique des plants, réduisant leur capacité à absorber l'eau. Ce phénomène est particulièrement préjudiciable aux jeunes plants de riz, entraînant un échec de la germination ou un retard de croissance (Munns et Tester, 2008).

La situation est aggravée par la mauvaise gestion de l'eau dans les systèmes irrigués, un problème croissant dans le contexte des changements climatiques.

II.2.2.3. Carences nutritionnelles des sols

Les sols du Burundi sont souvent appauvris en nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le zinc, et le fer. Ces carences sont liées à l'érosion des sols sur les pentes des collines qui entraîne la perte de la couche arable, de l'épuisement des sols en raison d'une fertilisation inadéquate ou d'une monoculture prolongée, notamment dans les marais rizicoles, de l'acidification des sols qui réduit la disponibilité du phosphore et d'autres oligo-éléments (Dobermann et Fairhurst, 2000).

Ces carences affectent directement la photosynthèse, la croissance racinaire et la capacité des plants à résister aux autres stress abiotiques tels que la sécheresse et la salinité.

II.2.3. Contraintes économiques

Les coûts de production du riz restent élevés au Burundi, en raison de l'accès limité aux intrants agricoles tels que les variétés améliorées, les engrais et les produits phytosanitaires. Les petits exploitants agricoles, qui constituent la majorité des producteurs de riz, manquent souvent de capitaux pour investir dans ces intrants. En conséquence, les rendements sont faibles, et la compétitivité du riz burundais sur le marché reste limitée. Par ailleurs, le manque d'infrastructures de transformation et de stockage entraîne des pertes post-récolte importantes, estimées à environ 30 % de la production totale (MINEAGRIE, 2020).

II.2.4. Contraintes technologiques

La riziculture au Burundi est encore largement dominée par des pratiques agricoles traditionnelles, qui sont peu productives. Le faible niveau de mécanisation et l'usage limité de techniques agricoles modernes freinent l'amélioration des rendements.

=====

Bien que des efforts aient été faits pour introduire des technologies modernes, leur adoption reste faible en raison de la méconnaissance et du manque de formation parmi les agriculteurs (IFAD, 2020). De plus, les infrastructures d'irrigation sont souvent vétustes et insuffisantes, ce qui limite la capacité des agriculteurs à cultiver du riz de manière intensive (PNUD, 2021).

II.2.5. Exigences édapho-climatiques du riz

La riziculture au Burundi dépend fortement des conditions édapho-climatiques, qui incluent à la fois les caractéristiques du sol (édaphiques) et les conditions climatiques. Ces facteurs déterminent en grande partie les zones où le riz peut être cultivé avec succès, ainsi que les rendements qui peuvent être obtenus.

II.2.5.1. Conditions climatiques

Le climat tropical du Burundi, caractérisé par des températures chaudes et une saison des pluies bien marquée, est généralement favorable à la culture du riz. Les températures optimales pour la croissance du riz se situent entre 24°C et 30°C, ce qui correspond aux conditions climatiques des plaines de l'Imbo et de la Kumoso, les principales régions rizicoles du pays. Ces zones bénéficient également d'une pluviométrie annuelle comprise entre 1 200 et 1 600 mm, suffisante pour soutenir la riziculture, notamment dans les systèmes irrigués (FAO, 2021).

Le riz est classé comme une plante à photopériode courte, c'est-à-dire que son processus de floraison est déclenché par des journées plus courtes. Une exposition à des jours plus longs que la normale peut retarder, voire inhiber, l'initiation de la phase paniculaire, ce qui entraîne un prolongement du cycle végétatif. L'eau constitue le facteur limitant principal en riziculture. Les besoins en eau sont faibles lors du repiquage, atteignent leur maximum au moment de l'initiation paniculaire, puis diminuent progressivement jusqu'à la maturité de la plante. En conditions de culture sèche, les besoins en eau varient en moyenne entre 160 et 300 mm par mois. Sur l'ensemble du cycle végétatif, ces besoins sont généralement estimés entre 1 000 et 1 800 mm (Bosio C., 2018).

Pour la riziculture irriguée, il est nécessaire de fournir environ 12 000 à 20 000 mètres cubes d'eau par hectare afin de maintenir le sol submergé tout au long de la période de croissance du riz (Kouassi *et al.* 2020).

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

Le tableau 1 présente les températures ainsi que leurs effets sur les différents stades de croissance du riz. La culture du riz est particulièrement sensible aux variations de température, ce qui influence directement son développement et son rendement.

Il met en évidence l'importance d'atteindre des températures optimales pour chaque stade de croissance afin d'assurer une production efficace et durable.

Tableau 1:Température et leurs effets sur les différents stades de croissance du riz

Stade de croissance	Température optimale (°C)	Effets des écarts de température
Germination	20-35	Température < 15 °C ralentit la germination, > 40 °C la stoppe (Wassmann <i>et al.</i> ,2009).
Levée des plantules	25-30	Température < 20 °C : croissance lente ; > 35 °C : stress thermique (Zhao <i>et al.</i> ,2016)
Tallage	25-31	Température < 20 °C réduit le tallage ; > 35 °C : talles non viables (Morita et Nakano, 2011).
Initiation florale	22-28	Température < 18 °C retarde l'initiation ; > 30 °C : organes endommagés (Jagadish <i>et al.</i> ,2015)
Floraison	30-33(jour), 22-28 (nuit)	Températures > 35 °C réduisent la fertilité des fleurs et causent avortement des grains (Wassmann <i>et al.</i> ,2009).
Remplissage des grains	20-25	Température < 18 °C ou > 30 °C ralentit le remplissage des grains (Morita et Nakano, 2011).
Maturation	25-30	Température optimale = maturation uniforme ; températures extrêmes = grains fissurés ou non matures (Zhao <i>et al.</i> ,2016).

II.2.5.2. Exigences édaphiques

Le riz présente une grande adaptabilité aux caractéristiques du sol. Il peut être cultivé sur une gamme variée de types de sol, allant des sols sableux aux sols fortement argileux, avec des niveaux de pH variant de moins de 4 à plus de 8, et des textures allant de très fines à grossières.

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa L.*)

Cependant, les sols argileux, caractérisés par une proportion d'argile et de limon d'environ 70% et une teneur relativement élevée en matière organique, avec un pH compris entre 6 et 7, sont préférés pour la culture du riz. En riziculture pluviale, il est préférable d'avoir des sols riches, meubles, et de texture limono-argileuse.

En revanche, pour la riziculture irriguée, les sols argileux sont favorisés, car cette écologie aide à limiter la percolation (Kambou, 2008).

Les sols adaptés à la riziculture au Burundi sont principalement des sols hydromorphes, riches en argile, qui permettent une bonne rétention d'eau, un élément essentiel pour la culture du riz inondé. Les plaines de l'Imbo et de Kumoso, par exemple, sont connues pour leurs sols argileux et limoneux, qui sont idéaux pour la riziculture. Ces sols ont une capacité élevée de rétention d'eau, ce qui est crucial pour maintenir les champs de riz inondés pendant toute la période de croissance (FIDA, 2020).

II.3. Contraintes de la riziculture

Tout comme d'autres cultures, la production de riz dans le monde, et en Afrique en particulier, est confrontée à diverses contraintes, à la fois biotiques et abiotiques. Chaque année, plus de 200 millions de tonnes de riz sont perdues à l'échelle mondiale en raison de ces défis (Ahmad et Wang, 2018).

Les contraintes biotiques sont principalement dues à la pression exercée par les organismes nuisibles. Plusieurs études ont mis en évidence les effets dévastateurs de la bactériose vasculaire causée par *Xanthomonas oryzae pv. Oryzae*, qui entraîne des pertes de rendement significatives dans la production de riz. Ces pertes peuvent atteindre de 20 à 30 %, voire jusqu'à 50 % dans certaines rizières en Asie, et même 100 % en cas d'attaques sévères (Amin *et al.*, 2016).

Les contraintes abiotiques incluent les mauvaises pratiques de gestion, de conservation et de protection de sol, les inondations saisonnières en riziculture irriguée, le froid, les hautes températures.

La toxicité ferreuse constitue une contrainte abiotique observée dans les rizières, résultant de l'accumulation de grandes quantités de fer (Fe^{2+}) dans la solution du sol, principalement dans les bas-fonds. En Afrique subsaharienne, la principale contrainte abiotique est la sécheresse (Hien, 2022).

II.4. Tolérance au stress hydrique

II.4.1. Concept de stress hydrique

Le stress hydrique désigne une condition où la disponibilité de l'eau dans le sol est insuffisante pour répondre aux besoins physiologiques des plantes (Blum, 2005). Chez le riz, il peut se présenter sous différentes formes :

- Déficit hydrique prolongé : lorsque les sols manquent d'eau pendant une période prolongée, en raison d'une sécheresse ou d'une mauvaise gestion de l'irrigation (Bouman et Tuong, 2001).
- Stress temporaire : lorsqu'un déficit hydrique se produit à des stades critiques, comme la floraison ou le remplissage des grains (Fukai et Cooper, 1995).
- Excès d'eau suivi de sécheresse : une condition courante dans les systèmes irrigués mal gérés, où l'inondation est suivie par un assèchement rapide (Bouman et Tuong, 2001). (Bouman et Tuong, 2001).

II.4.2. Mécanisme de tolérance au stress hydrique

Sachant que l'eau joue un rôle central dans la croissance du riz, affectant divers processus physiologiques et biochimiques. Sous stress hydrique, les plants de riz montrent une réduction significative de la photosynthèse, de la respiration et de la translocation des assimilats, menant à une baisse de rendement (Kabongo Tshiabukole J.P., 2019).

Les plantes développent plusieurs mécanismes pour tolérer le stress hydrique, lesquels peuvent être regroupés en adaptations morphologiques, physiologiques et biochimiques (Adimassu et Simon, 2017).

Pour ce qui est des adaptations morphologiques, les racines plus profondes et plus ramifiées permettent une meilleure absorption de l'eau (Lafitte *et al.*, 2003).

Les changements dans la surface foliaire, comme la réduction de la taille des feuilles, diminuent la perte d'eau par transpiration (Chutia *et al.*, 2012).

S'agissant des adaptations physiologiques, la fermeture des stomates réduit la transpiration, tandis que l'accumulation de composés osmoprotecteurs comme les prolines aide à maintenir l'équilibre osmotique des cellules (Serraj et Sinclair, 2002).

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

Quant aux adaptations biochimiques, elles concernent la production accrue d'antioxydants et d'enzymes de détoxification et aident à protéger les cellules contre les dommages oxydatifs causés par le stress hydrique (Mittler, 2002).

II.4.3. Etudes antérieures sur la tolérance au stress hydrique

De nombreuses études ont été menées pour identifier et caractériser les lignées de riz tolérantes au stress hydrique. Il a été montré que la tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique. Le maintien de la turgescence lors d'un déficit hydrique permet de retarder la fermeture des stomates (Bernard, 2024), de maintenir le volume chloroplastique (Lafitte et Courtois, 2003) et de réduire le flétrissement foliaire (Houle et Jones, 2020)

Ndikuryayo *et al.*, (2023) et Salomi *et al.*, (2024) ont identifié des *QTLs* (quantitative trait loci) associés à la tolérance au stress hydrique dans les lignées de riz. Ces *QTLs* sont essentiels pour le développement de variétés résistantes.

Lafitte et Courtois, (2003) ont démontré l'efficacité de la sélection assistée par marqueurs pour l'amélioration de la tolérance au stress hydrique. Ils ont identifié plusieurs marqueurs génétiques liés à des traits de tolérance.

Parlant des variétés Tolérantes, l'IRRI (International Rice Research Institute) a développé des variétés de riz comme IR64 (Patil *et al.*, 2022).

II.4.4. Amélioration variétale

Le stress hydrique, causé par des périodes prolongées de sécheresse ou une irrigation insuffisante, représente une menace majeure pour la riziculture au Burundi, un pays où l'agriculture dépend fortement des précipitations. Pour répondre à ce défi, l'amélioration variétale, qui consiste à développer des variétés de riz capables de résister au stress hydrique, est devenue une priorité pour les agronomes et les chercheurs.

II.4.5. Sélection de variétés tolérantes au stress hydrique

La sélection de variétés tolérantes au stress hydrique est une stratégie essentielle pour assurer la résilience de la riziculture burundaise. Des programmes de recherche ont été mis en place pour identifier et développer des variétés qui peuvent survivre et produire des rendements acceptables même sous des conditions de faible disponibilité en eau.

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

Par exemple, des variétés comme le NERICA (New Rice for Africa) ont montré une meilleure tolérance à la sécheresse par rapport aux variétés traditionnelles (Africa Rice, 2018).

Ces variétés sont spécialement adaptées aux conditions des zones rizicoles du Burundi, où les périodes de sécheresse deviennent de plus en plus fréquentes (FAO, 2021).

II.5. Techniques de croisement et de génétique moléculaire

Les techniques de croisement et la génétique moléculaire sont utilisées pour introduire des traits de résistance au stress hydrique dans les variétés de riz. En croisant des variétés locales avec des variétés résistantes au stress hydrique, les chercheurs ont réussi à créer des variétés qui non seulement tolèrent mieux les conditions de sécheresse, mais qui sont aussi adaptées aux sols et aux climats spécifiques du Burundi (ISABU, 2019). L'utilisation de marqueurs moléculaires pour identifier les gènes responsables de la tolérance à la sécheresse a permis de rendre le processus de sélection plus précis et plus efficace (World Bank, 2019).

II.6. Adoption et diffusion des variétés améliorées

La diffusion et l'adoption des variétés améliorées parmi les agriculteurs sont cruciales pour la résilience de la riziculture au Burundi. Les programmes de vulgarisation agricole jouent un rôle clé dans cette diffusion, en formant les agriculteurs à l'utilisation des nouvelles variétés et en fournissant les semences adaptées. Les variétés telles que NERICA et autres variétés améliorées ont été largement adoptées dans les zones rizicoles, contribuant à une meilleure stabilité des rendements malgré les conditions climatiques défavorables (PNUD, 2021).

Cependant, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour atteindre une adoption à grande échelle, en particulier dans les régions les plus vulnérables.

II.7. Variétés diffusées tolérantes contre le stress hydrique

L'adaptation de la riziculture aux conditions climatiques changeantes, notamment en réponse au stress hydrique, est essentielle pour assurer la sécurité alimentaire au Burundi. L'introduction et la diffusion de variétés de riz tolérantes au stress hydrique jouent un rôle crucial dans cet effort. Plusieurs variétés adaptées ont été développées et diffusées pour répondre aux défis spécifiques rencontrés par les riziculteurs burundais.

II.7.1. Variété NERICA (New Rice for Africa)

Parmi les variétés diffusées, le NERICA est l'une des plus importantes pour la riziculture au Burundi développée pour combiner la résistance aux stress abiotiques des variétés africaines avec les hauts rendements des variétés asiatiques, NERICA est bien adaptée aux conditions de stress hydrique fréquentes dans certaines régions du Burundi.

Ces variétés sont capables de produire des rendements satisfaisants même en cas de faible disponibilité en eau (AfricaRice, 2020).

II.7.2. Variété japonaise

Cette variété japonaise est également étudiée pour sa résistance au stress hydrique et est utilisée dans des programmes de sélection pour le développement de cultivars plus robustes (ISABU, 2016).

II.7.3. Variété L19

L19 est une autre variété introduite dans le cadre des programmes d'amélioration variétale visant à renforcer la résilience de la riziculture burundaise face au stress hydrique. Issue de croisements spécifiques pour améliorer la tolérance à la sécheresse, L19 a été testée et promue dans diverses zones rizicoles du pays, avec des résultats positifs en termes de rendement dans des conditions d'irrigation restreinte (ISABU, 2016).

II.7.4. Autres variétés localement adaptées

En plus des variétés NERICA et L19, des efforts ont été déployés pour sélectionner et diffuser d'autres variétés locales et régionales qui montrent une tolérance naturelle au stress hydrique. Les variétés locales, bien que souvent moins productives que les variétés hybrides, possèdent une résilience intrinsèque aux conditions locales, ce qui en fait des choix viables pour les agriculteurs ayant un accès limité aux intrants agricoles (FAO, 2021).

III.2. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé était subdivisé en trois catégories :

- (i) Lignées issues des croisements (IR24E4696, IR24E4717, IR24E4718, IR24E4684, IR24E4726, IR24E4727 et IR24E4728),
- (ii) Variété témoin sensible à la sécheresse développée aux Philippines (IR64),
- (iii) Variété témoin tolérante contre la sécheresse développée aux Philippines IR05N221 (KOMBOKA).

Le tableau 3 présente la description détaillée du matériel végétal utilisé.

Tableau 3: Description des lignées utilisées

Désignation	Origine génétique	Origine géographique
IR24E4696	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR24E4717	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR24E4718	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR24E4684	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR24E4726	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR24E4727	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR24E4728	SUPA KATRIN/IR108044-B-B-B-3-B-B	Burundi
IR64	IR5657-33-2/IR2061-465-1-5-5	Philippines
IR05N221(KOMBOKA)	IR 74052-297-2-1/IR 71700-247-1-1-2	Philippines

Source : IRRI-BURUNDI

III.3. Dispositif expérimental et conduite de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite en plein champ durant la saison A (la saison pluvieuse 2024). Un dispositif en blocs complets randomisés a été utilisé, avec trois répétitions pour chaque lignée. Les parcelles expérimentales mesuraient 9,6 m². Les lignées ont été semées chacune avec un espacement de 20 cm entre les rangs et de 20 cm entre les plants. Elles ont été soumises à deux régimes hydriques : (1) un régime non stressé (irrigation normale) et (2) un régime stressé (irrigation limitée pour simuler une sécheresse). La gestion de l'eau a été strictement contrôlée pour garantir que les conditions de stress de déficit hydrique soient homogènes à travers les parcelles stressées.

III.4. Collecte des données

Les données collectées sont celles en rapport avec : (i) les caractéristiques du sol, (ii) les paramètres de croissance du riz (hauteur des plants et nombre de talles), (iii) les scores de tolérance ou de sensibilité au stress de déficit hydrique, (iv) les caractéristiques des grains (longueur et largeur des grains), (v) le rendement du riz et ses composantes

III.4.1. Caractéristiques du sol

L'échantillon du sol a été prélevé à l'aide d'une houe avant le labour afin d'orienter la gestion du champ et du stress de déficit hydrique. Les paramètres analysés incluent le pourcentage d'argile, de limon et de sable. Cet échantillon a été analysé au laboratoire de l'ISABU.

Cette analyse granulométrique a été réalisée en plusieurs étapes : d'abord, la matière organique a été détruite à l'aide de H₂O₂. Ensuite, les argiles ont été éliminées par centrifugation. Les sables et les limons ont été séparés par filtration, tandis que les différentes fractions de sable ont été déterminées par tamisage. Enfin, les limons ont été isolés par décantation suivie de filtration, selon une méthode interne. La classification du sol en classes de texture a été effectuée en utilisant le triangle textural de l'USDA en recourant au logiciel TALWIN mis au point par Christopher et Mokhtaruddin (1996).

III.4.2. Paramètres de croissance du riz

Les paramètres de croissance du riz collectés sont la hauteur moyenne des plants (HP) et le nombre moyen de talles (NT). La hauteur des plants a été mesurée en centimètres (cm) à partir de la base du plant jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus haute. Pour ce, cinq plants représentatifs de chaque lignée ont été sélectionnés au hasard, et la hauteur a été mesurée à des intervalles réguliers tout au long du cycle de croissance en particulier lors de la phase végétative. La hauteur moyenne par lignée a été calculée en additionnant les mesures individuelles et en divisant par le nombre de plants mesurés.

Le nombre de talles, qui représente les ramifications secondaires sur chaque plante, a été compté à partir de la phase de tallage. Cinq plants par lignée ont également été choisis de manière aléatoire, et le nombre de talles a été déterminé à intervalles réguliers durant la période de croissance active particulièrement après l'apparition des premières talles. Pour chaque lignée, le nombre total de talles observées a été divisé par cinq pour obtenir une moyenne.

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

Ces paramètres ont été suivis à la fois sous conditions normales et sous conditions de stress de déficit hydrique afin de comparer la tolérance des lignées à ces conditions.

III.4.3. Scores de tolérance ou de sensibilité au stress de déficit hydrique

Les scores (SES) pour déterminer le degré de tolérance ou de sensibilité au stress de déficit hydrique se rapportent à l'enroulement et au séchage des feuilles. Ces scores sont mesurés selon le système standard d'évaluation de l'IRRI (IRRI, 2014) à différents moments après le semis. Les premières observations ont été réalisées 42 jours après le semis pour mesurer l'enroulement des feuilles. Par la suite, à 49 jours après le semis, des relevés supplémentaires ont été effectués, incluant à la fois l'enroulement et le dessèchement des feuilles. Enfin, à 63 jours après le semis, des données concernant le dessèchement des feuilles ont été collectées. Le stress du déficit hydrique a été induit 28 jours après le semis.

Tableau 4: Scores liées au stress de déficit hydrique

Scores (SES)	Degré d'enroulement des feuilles	Degré de séchage des feuilles
0	Feuilles saines	Aucun symptôme
1	Feuilles commencent à se plier (peu profondes)	Léger séchage de la pointe
3	Feuilles repliées (forme en V profond)	Séchage de la pointe étendu jusqu'à toute longueur dans la plupart des feuilles.
5	Feuilles entièrement coupées (forme en U)	Un quart à nombre de talles par plante, nombre de panicules par plante.
7	Marges des feuilles touchant (forme 0)	Plus des 2/3 de toutes les feuilles sont entièrement séchées.
9	Feuilles bien enroulées.	Toutes les plantes apparemment mortes.

Source : IRRI, (2014)

III.4.4. Rendement du riz et ses composantes

Le rendement (RDT) est fonction de différentes composantes : nombre de plants/hectare, nombre de talles/pied, nombre de panicules/talle, nombre de grains pleins/panicule et le poids d'un grain en grammes (poids de mille grains/1000). Ainsi, le rendement théorique est donné par la formule suivante :

$$\text{RDT} = \text{NP/ha} \times \text{NT/P} \times \text{Npa/T} \times \text{NG/Pa} \times \text{Pgg}$$

Avec : RDT = t/ha

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

NP/ha = nombre de plants/hectare = $NP/m^2 \times 10\,000$

NT/P = nombre de talles/pied

NPa/T = nombre de panicules/talle

NG/Pa = nombre de grains pleins/panicule

Pgg = poids d'un grain en grammes (Poids de mille grains/1000)

III.4.5. Caractéristiques des grains

La longueur (L) et la largeur (l) des grains en cm ont été mesurées à l'aide d'un Compas de palmer.

III.4.6. Calcul des indices de tolérance au stress de déficit hydrique

Les indices de tolérance au stress de déficit hydrique ont été calculés suivant les formules ci-après :

- **Rendement relatif sous conditions irriguée (RYW)**

$$RYW = Y_{NS} / Y_{Max}$$

Où Y_{NS} est le rendement sous condition irriguée et Y_{Max} est le rendement maximal (le rendement sous contrôle ou dans des conditions irriguées) (Kumar *et al.*, 2014).

Cet indice mesure le rendement d'une lignée sous conditions irriguées par rapport à son rendement maximal.

- **Rendement relatif sous stress de déficit hydrique (RYS)**

$$RYS = Y_S / Y_{Max}$$

Où Y_{NS} est le rendement sous condition de stress du déficit hydrique et Y_{Max} est le rendement maximal (le rendement sous contrôle ou dans des conditions irriguées) (Kumar *et al.*, 2014).

Il évalue le rendement sous stress de déficit hydrique par rapport au rendement maximal.

- **Indice de Rendement Relatif (REI)**

$$REI = [(Y_i)_S / (Y_S)] \times [(Y_i)_{NS} / (Y_{NS})] \text{ (Hossain } et al., 1999).$$

Plus REI est élevé (proche de 1), plus la lignée est tolérante au stress.

- **Indice de Productivité Moyenne (MPI)**

$$MPI = (Y_{NS} + Y_S) / 2$$

=====
 Cet indice donne une moyenne des rendements sous stress et non-stress.

- **Performance Relative Moyenne(MRP)**

$$\text{MRP} = [(Y_i)_S / (Y_S)] + [(Y_i)_{NS} / (Y_{NS})] \quad (\text{Hossain } et al., 1999).$$

Cet indice évalue la performance relative des variétés sous les deux conditions.

- **Niveau de tolérance au stress (TOL)**

$$\text{TOL} = (Y_i)_{NS} - (Y_i) \quad (\text{Rosielle et Hamblin, 1981}).$$

Une valeur faible du TOL (stress tolérance) indique la tolérance élevée d'une lignée/variété au stress.

- **Indice de tolérance au stress (STI)**

$\text{STI} = [(Y_i)_{NS} \times (Y_i)_S]$ (Fernandez, 1992). Une valeur élevée de STI implique une plus grande tolérance au stress.

- **Indice de Susceptibilité au stress (SSI) :**

$$\text{SSI} = [1 - ((Y_i)_S / (Y_i)_{NS})] / \text{SI} \quad (\text{Fisher et Maurer, 1978}).$$

Les valeurs faibles de SSI indiquent des différences faibles entre les rendements obtenus sous stress et en conditions normales ; autrement dit, les variétés/lignées qui ont une faible valeur de SSI sont plus tolérantes au stress (Kumar *et al.*, 2014).

- **Indice d'efficacité de tolérance à la sécheresse (DTE)**

$\text{DTE} = (\text{Rendement sous stress} / \text{Rendement sous (non-stress)}) \times 100$ (Raman *et al.*, 2012, Ouk *et al.*, 2006 ; Talebi *et al.*, 2009 ; Singh *et al.*, 2011).

Plus DTE est élevé, plus la lignée est tolérante au stress

Ces indices permettent d'évaluer la tolérance au stress hydrique des variétés de plantes. Des valeurs élevées pour RYW, RYS, REI, STI, et DTE, ainsi que des valeurs faibles pour TOL et SSI, indiquent une meilleure tolérance au stress.

III.5. Analyses des données

Les données collectées ont été analysées à l'aide de plusieurs outils informatiques, notamment Microsoft Excel 2013 pour la gestion des données et les logiciels statistiques Genstat pour les analyses approfondies. Ces analyses ont inclus : L'analyse de la variance (ANOVA) : cette analyse a permis d'évaluer les différences significatives entre les lignées de riz en termes de tolérance au stress de déficit hydrique et de rendement. Le test de Comparaison des Moyennes (Tukey Test) : ce test a été appliqué pour identifier les lignées présentant les meilleures performances en matière de rendement et de tolérance au stress de déficit hydrique.

CHAPITRE IV : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS
IV.1. Présentation des résultats**IV.1.1. Caractéristiques du sol**

Le sol du site d'essai a été analysé pour le paramètre granulométrie. En portant les pourcentages en argile, en limon et en sable de ce sol sur un triangle textural du USDA, on remarque que c'est un sol argilo-sableux (Figure 3). Il s'agit d'une texture argileuse caractérisée par une perméabilité limitée à l'eau et un grand pouvoir de rétention de l'eau et des cations.

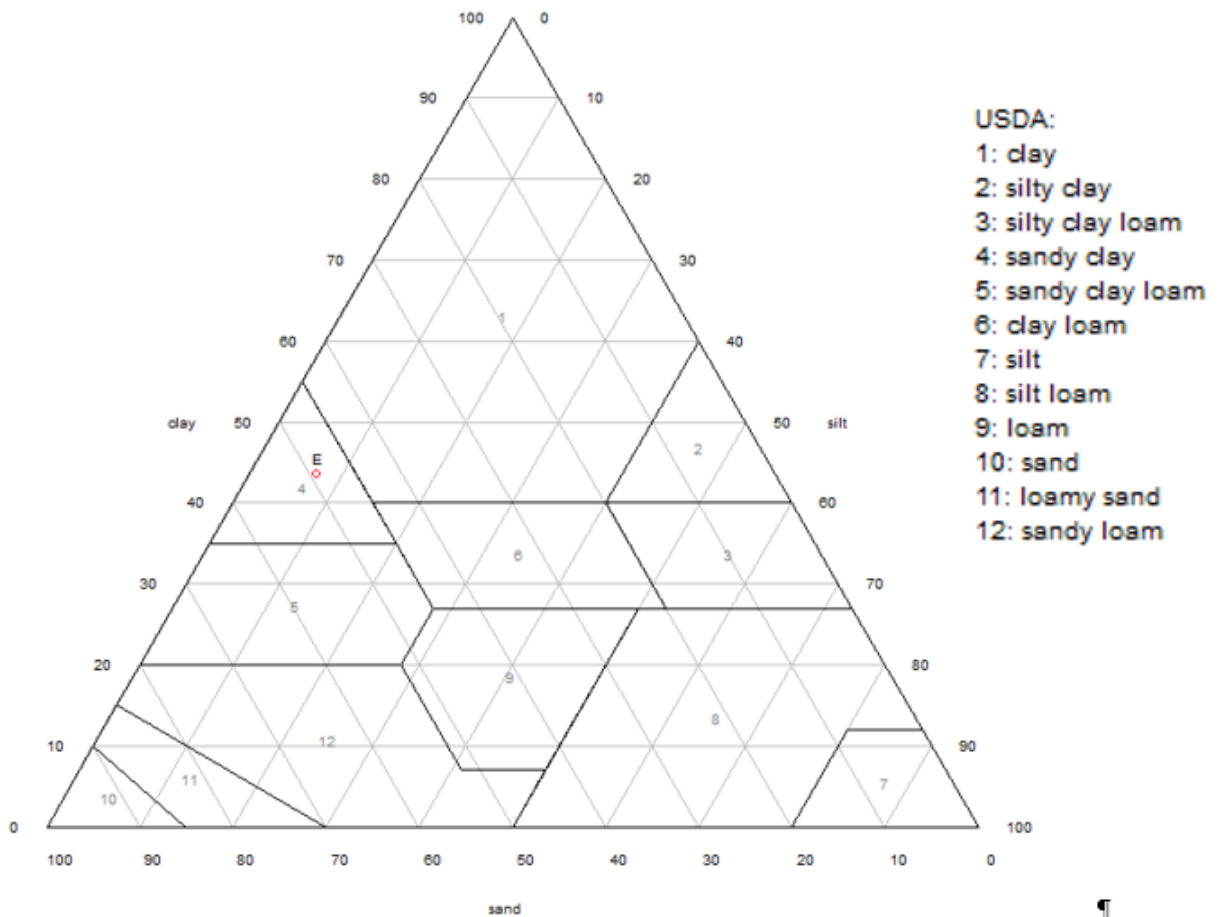


Figure 3 : Représentation du sol du site d'essai (E) sur le triangle textural du USDA

IV.1.2. Paramètres de croissance et du rendement des lignées testées

IV.1.2.1. Hauteur moyenne des plants

Les résultats sur la hauteur des plants de neuf lignées de riz testées sous les deux conditions de culture sont montrés au Tableau 5. Nous remarquons que les lignées testées affichent les mêmes tendances dans les deux conditions de culture. Ainsi, la variété tolérante au stress de déficit hydrique (IR05 N221) présente la plus grande hauteur, tandis que le témoin sensible (IR64) présente une hauteur moyenne des plants la plus petite.

Les lignées IR24 E4696, IR24 E4717, IR24 E4718, IR24 E4684, et IR24 E4728 ont des hauteurs qui ne sont pas significativement différentes de celle du témoin tolérant IR05 N221 ; tandis que les lignées IR24E4726 et IR24E4727 présentent des hauteurs qui ne sont pas significativement différentes de celle du témoin sensible IR64. On note que les deux groupes de lignées sont statistiquement distincts pour cette variable.

Tableau 5 : Hauteur des plants des neuf lignées de riz testées (cm)

Code de la lignée	Hauteur (cm)	
	RSS	IC
IR24 E4696	88,07±3,57 a	89,13±3,57 a
IR05 N221	96,2±2,01 a	97,33±2,19 a
IR64	68,4±4,94 b	69,4±4,94 b
IR24 E4717	88,13±5,89 a	89,13±5,90 a
IR24 E4718	88±7,42 a	89,2±7,42 a
IR24 E4726	69,4±3,44 b	70,67±3,49 b
IR24 E4684	95,87±6,09 a	97,27±6,09 a
IR24 E4727	70±4,24 b	71±4,24 b
IR24 E4728	94,47±8,86 a	95,47±8,86 a
p-valeur	< 0,001	< 0,001

IC=irrigated condition (Non-stress), RSS= reproductive stage drought stress

Note : moyennes ± écart - types ; Les traitements suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05.

IV.1.2.2. Tallage moyen des plants

Les résultats sur les nombres moyens de talles des neuf lignées de riz testées sous deux conditions de culture (IC - irriguée et RSS - stress de déficit hydrique au stade reproductif) sont montrés au Tableau 6. Le constat est que, dans les deux conditions de culture, le témoin tolérant IR05N221 présente le nombre moyens de talles le plus élevé ; tandis que le témoin sensible (IR64) présente le plus petit nombre de talles.

La lignée IR24E4784 n'est pas significativement différente de la variété tolérante pour le nombre de talles dans les deux conditions de culture. En outre, les variétés IR24E4718 et IR24E4726, auxquelles s'ajoute la lignée IR24 E4727 en conditions de stress hydrique, ne sont pas significativement différentes de la variété sensible IR64.

Tableau 6 : Nombre moyen de talles des neuf lignées de riz testées

Code de la lignée	Nombre de talles	
	RSS	IC
IR24 E4696	13,73±1,00 bc	15,20±1,63 bc
IR05 N221	15,93±2,32 a	18,53±1,56 a
IR64	11,40±0,65 d	12,73±0,24 d
IR24 E4717	13,73±1,00 bc	15,80±1,77 b
IR24 E4718	11,73±0,91 d	13,67±0,91 cd
IR24 E4726	11,60±0,81 d	13,87±1,07 cd
IR24 E4784	15,33±1,23 a	18,47±1,52 a
IR24 E4727	12,40±1,15 cd	15,07±1,55 bc
IR24 E4728	14,46±1,12 ab	16,13±0,65 b
p-valeur	< 0,05	< 0,05

IC=irrigated condition (Non-stress), RSS= reproductive stage drought stress

Note : moyennes ± écart - types ; Les traitements suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05.

IV.1.2.3. Paramètres du rendement

IV.1.2.3.1. Longueur moyenne des panicules et le poids moyen de mille grains

Le Tableau 7 présente les résultats de la longueur moyenne des panicules et le poids moyen de mille grains des neuf lignées de riz testées dans les deux conditions de culture.

Sous condition irriguée (IC), les valeurs de longueur des panicules varient de 20,43 cm pour IR24E4696 à 24,13 cm pour IR24E4728. De manière générale, les longueurs des panicules sont plus élevées sous IC, ce qui suggère une bonne croissance des panicules en l'absence de stress.

Sous stress de déficit hydrique (RSS), les valeurs de longueur des panicules varient de 8,07 cm pour IR24E4727 à 19,17 cm pour IR24E4728.

Dans les deux conditions de culture, les deux variétés témoins à savoir le témoin tolérant et le témoin sensible se trouvent dans un même groupe de moyennes homogènes pour la longueur de la panicule. En conditions de culture irriguée, on note que les lignées IR24E4726 et IR24E4727 ont des longueurs de panicules qui sont significativement plus petites que celle du témoin sensible.

Le poids de mille grains varie de 20,42 g pour IR24E4728 à 24,57 g pour IR05N221 sous condition irriguée (IC). Sous stress de déficit hydrique (RSS), les poids varient de 16,66 g pour IR24E4726 à 24,84 g pour IR24E4718. Une réduction du poids des grains est généralement observée sous stress, avec des différences allant de légères à plus marquées entre les lignées.

Tableau 7 : Longueur moyen des panicules et poids moyen de mille grains des neuf lignées de riz testées

Code de la lignée	Longueur des panicules		Poids moyen de mille grains	
	RSS	IC	RSS	IC
IR24 E4696	14,60±0,98 abc	20,43±1,54ab	21,32 ±1,08 ab	20,68 ±0,42ab
IR05 N221	14,76±0,69 abcd	22,43±1,13a	23,15±1,89 a	24,57 ±3,06a
IR64	13,56±0,92 abc	21,33±3,46ab	21,39±1,81 ab	24,53 ±0,26ab
IR24 E4717	17,53 ±2,16 ab	23,77±1,26bc	17,87±1,06 bc	24,84±1,57a
IR24 E4718	14,80±1,58 abc	20,00±2,39 a	24,40±0,52 a	21,67±2,11bc
IR24 E4726	10,10±0,87 cd	23,00±4,91 c	16,66±1,17 c	22,69±0,38abc
IR24 E4784	16,60±1,07 ab	21,73±0,87 a	22,67±2,15 a	22,06±0,24abc
IR24 E4727	8,07±1,21 d	20,83±3,11 c	16,84±2,16 c	23,20 ±0,57abc
IR24 E4728	19,17±1,45 a	24,13±1,64 a	22,65±1,68 a	20,42±1,71c
p-valeur	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

IC=irrigated condition (Non-stress), RSS= reproductive stage drought stress

Note : moyennes ± écart - types ; Les traitements suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05.

Dans les deux conditions de culture (IC et RSS), les variétés témoin sensible et témoin tolérant sont dans un même groupe de moyennes homogènes au seuil de 0,05. On note cependant que les lignées IR24E4726 et IR24E4727 en conditions de stress de déficit hydrique et la lignée IR24E4728 possèdent des poids de mille grains qui sont significativement plus petits que celui du témoin sensible (IR64).

IV.1.2.3.2. Longueur moyen et largeur moyen des grains

Les résultats relatifs à la longueur moyenne et à la largeur moyenne des grains des neuf lignées de riz testées sous deux conditions de culture sont présentés au Tableau 8.

Sous condition irriguée (IC), les longueurs des grains varient de 9,70 mm pour IR24E4717 à 11,25 mm pour IR64. Sous stress de déficit hydrique (RSS), les longueurs des grains varient de 9,07 mm pour IR24E4726 à 11,25 mm pour IR24E4727. Une légère réduction de la longueur des grains est observée sous stress, bien que cette réduction varie d'une lignée à l'autre.

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

La lignée IR24E4727 présente une longueur de grain moyen significativement plus élevée que celle du témoin tolérant IR05 N221 en conditions de stress hydrique, tandis que les lignées IR24E4696, IR24 E4726 et IR24 E4728 ont des longueurs de grains significativement plus petites que le témoin sensible IR64 en conditions irriguées.

Tableau 8 : Longueur moyen et largeur moyen des grains des neuf lignées de riz testées

Code de la lignée	Longueur moyen des grains		Largeur moyen des grains	
	RSS	IC	RSS	IC
IR24 E4696	10,41±1,23 bc	9,46±0,17 b	3±0 ab	3±0 ab
IR05 N221	9,93±0,20 bc	10,37±0,17 a	3,13±0,17 a	3,13±0,17 a
IR64	10,41±0,61 ab	10,26±0,17 a	3±0 ab	3±0 ab
IR24 E4717	9,70 ±0,22 bc	10,13±0,2 a	2,37±0,03 c	2,37±0,17 c
IR24 E4718	9,53±0,03 bc	10,30±0,02 a	2,97±0,025 ab	2,93±0,025 ab
IR24 E4726	9,07±0,024 c	9,56±0,02 b	2,83±0,17 b	2,83 ±0,17 b
IR24 E4784	9,43±0,10 bc	10,13±0,14 a	2,23±0,17 c	2,23±0,17 c
IR24 E4727	11,25±0,64 a	10,16±0,62 a	2,20±0,17 c	2,2±0,17 c
IR24 E4728	9,4±0,26 bc	9,56±0,17 b	3,13±0,17 a	3,13±0,17 a
p-valeur	< 0,05	0,006	< 0,05	< 0,001

IC=irrigated condition (Non-stress), RSS= reproductive stage drought stress

Note : moyennes ± écart - types ; Les traitements suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05.

Sous condition irriguée (IC), les largeurs des grains varient de 2,2 mm pour IR24E4727 à 3,13 mm pour IR05N221, IR24E4728, et IR64. La largeur des grains est relativement uniforme parmi les lignées, avec quelques petites variations. Sous stress de déficit hydrique (RSS), les largeurs des grains varient de 2,2 mm pour IR24 E4727 à 3,13 mm pour IR05 N221 et IR24 E4728. La largeur des grains semble moins affectée par le stress de déficit hydrique que la longueur des grains, avec peu de variations notables.

En conditions irriguées et en condition de stress, les lignées IR24E4718, IR24E4784, IR24E4727 et IR24E4728 possèdent des largeurs de grains significativement plus petites que celle de la variété témoin sensible.

IV.1.2.3.3. Le nombre moyen des panicules et le rendement moyen par hectare des grains

Le Tableau 9 présente les résultats concernant le nombre moyen de panicules et le rendement moyen en tonnes par hectare (t/ha) des neuf lignées de riz testées sous deux conditions de culture : IC (condition irriguée) et RSS (stress de déficit hydrique au stade reproductif).

=====

Sous condition irriguée (IC), le nombre moyen de panicules varie de 8 panicules pour IR24E4726 à 17 panicules pour IR24E4728. Les lignées IR24E4696, IR64, IR24E4717, IR24E4784, IR24E4728 ne sont pas significativement différentes de la variété tolérante IR05N221. On note que les variétés tolérante et sensible se retrouvent dans un même groupe de moyenne homogène. Les dernières places pour le nombre moyen de panicules sont prises par les lignées IR24 E4726 IR24 E4727 et IR24 E4718.

En conditions de stress de déficit hydrique, le plus grand nombre de panicules par plant (14 panicules) est enregistré pour la lignée IR24E4728, tandis que le plus petit nombre de panicules (6 panicules) est observé chez la lignée IR24 E4727. La lignée IR24 E4728 affiche un nombre de panicules plus élevé en valeur absolue que celui du témoin tolérant (IR05N221) sans toutefois que la différence soit significative au seuil de 5%. Ce témoin tolérant (IR05N221) se trouve dans le même groupe de moyenne homogène avec les lignées IR24 E4728, IR24E4717 et IR24E4784. Le témoin sensible (IR64) partage le même groupe de moyenne homogène avec la lignés IR24 E4718 pour le nombre de panicules par plant et a une valeur de cette variable qui est significativement plus élevée que celles des lignées IR24 E4727 et IR24 E4726.

Quant au rendement en grains par hectare, on remarque qu'en condition irriguée, trois lignées IR24E4728, IR24E4717 et IR24 E4784 affichent des rendements qui sont supérieurs à celui du témoin tolérant avec des valeurs respectives de 7,64 ; 7,43 et 7,19 t/ha même si la différence n'est pas significative au seuil de 5%. La lignée IR24E4726 dont le rendement est de 5,9 t/ha n'est pas non plus significativement différente du témoin tolérant IR05N221. La variété sensible IR64 affiche un rendement de 5,74 t/ha en condition irriguée. Elle est dans le même groupe de moyenne homogène que les lignées IR24E4696 (5,2 t/ha), IR24E4718 (4,6 t/ha) et IR24E4727 (5,3 t/ha).

En conditions de stress de déficit hydrique, le rendement en grains des neuf lignées testées est tel que le record est pris par la lignée IR24E4728 (7,01 t/ha). Elle est suivie par les lignées IR24E4717 (5,9 t/ha) et le témoin tolérant IR05N221 (5,9 t/ha). Les variétés dont les rendements en grains sont statistiquement plus faibles que celui du témoin tolérant sont IR24E4726 (4,5 t/ha), IR24E4727 (4,2 t/ha), IR24E4696 (3,5 t/ha), IR64 (3,4 t/ha) et IR24E4718 (2,1 t/ha).

Tableau 9 : Le nombre moyen des panicules et le rendement moyen en tonnes / ha des grains des neuf lignées de riz testées

Code de la lignée	Nombre moyen des panicules		Rendement moyen en tonnes / ha	
	RSS	IC	RSS	IC
IR24 E4696	8,87±1,73 c	14,00±2,04 bcd	3,45± 1,63 d	5,23 ±5,27 cd
IR05 N221	12,67± 1,06 ab	15,00±2,03 abc	5,85± 0,95 ab	6,80 ±0,35 ab
IR64	8,13±0,91 c	13,43±1,74 cd	3,44±0,49 d	5,74±4,57 d
IR24 E4717	13,00±1,36 ab	16,00± 2,66 ab	5,92± 0,39 ab	7,43± 0,23 a
IR24 E4718	7,93 ±0,54 c	12,26± 0,39 d	2,09± 2,98 e	4,60± 1,89 d
IR24 E4726	5,40 ±1,50 d	7,56±1,06 e	4,500± 0,43 cd	5,90± 0,28 bc
IR24 E4784	11,33± 1,38 b	15,00±1,65 abc	5,38± 0,78 bc	7,19± 0,55 a
IR24 E4727	5,70± 0,81 d	9,27 ±0,87 e	4,200±0,71 cd	5,33± 0,69 cd
IR24 E4728	13,67± 1,38 a	17,00± 1,65 a	7,01±0,41 a	7,64±0,06 a
p-valeur	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

IC=irrigated condition (Non-stress), RSS= reproductive stage drought stress

Note : moyennes ± écart - types ; Les traitements suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05.

IV.1.3. Paramètres de tolérance du riz au déficit hydrique

IV.1.3.1. Indicateurs qualitatifs de sensibilité au stress de déficit hydrique

Les paramètres qualitatifs collectés qui incluent les scores d'enroulement et de séchage des feuilles sont présentés dans le Tableau 10. Les résultats révèlent une variabilité significative de la tolérance au stress hydrique parmi les différentes lignées de riz.

A la première date de collecte de données relatives à la tolérance au stress de déficit hydrique, les lignées IR24 E4727, IR24 E4718 et IR24 E4726 affichent un score d'enroulement des feuilles qui est significativement plus élevé que celui de la variété tolérante IR05 N221. La lignée IR24 E4727 a un score d'enroulement des feuilles particulièrement plus élevé que celui du témoin sensible IR64.

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

A la deuxième date de collecte de données relatives à la tolérance au stress de déficit hydrique, ces trois lignées se démarquent par un score plus élevé d'enroulement des feuilles. Deux autres lignées, IR24 E4696 et IR64 les rejoignent dans le groupe des plus sensibles.

En ce qui est du score d'assèchement des feuilles, les lignées IR24E4727 et IR24E4726 occupent les premières places pour ce paramètre avec des valeurs respectives de 5 et 3,67 à la première date de collecte de cette variable ; la lignée étant significativement plus touchée que la variété sensible IR64. On note que les lignées IR24E4718, IR24E4696, IR64, IR05N221, IR24E4728, IR24E4784 et IR24E4717 sont dans un même groupe de moyennes homogènes pour cette variable. A la deuxième date de collecte des données sur ce score, la lignée IR24E4727 possède un score d'assèchement, de 7,67, significativement plus élevé que ceux des autres lignées qui se retrouvent dans un même groupe de moyennes homogènes.

Tableau 10 : Score d'enroulement et de séchage des feuilles

Code de la lignée	Relevé des données de l'enroulement des feuilles à la 1ère date (42 jours après le semis)	Relevé des données de l'enroulement des feuilles à la 2ème date (49 jours après le semis)	Relevé des données de l'assèchement des feuilles à la 1ère date (49 jours après le semis)	Relevé des données de l'assèchement des feuilles à la 2ème date (63 jours après le semis)
IR24 E4727	6,33 a	7,00 a	5,00 a	7,67 a
IR24 E4718	4,33 ab	6,33 ab	2,00 bc	4,33 b
IR24 E4726	4,33 ab	6,33 ab	3,67 ab	4,33 b
IR24 E4696	1,67 bc	4,33 abc	1,00 bc	3,67 b
IR64	1,33 bc	5,67 ab	1,67 bc	4,33 b
IR05 N221	1,00 c	1,67 c	0,33 c	1,33 b
IR24 E4728	1,00 c	2,33 c	0,67 c	1,67 b
IR24 E4784	1,00 c	3,67 bc	1,67 bc	3,00 b
IR24 E4717	0,67 c	1,67 c	0,67 c	2,33 b
P Value	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05

Note : Les traitements suivis d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05.

IV.1.3.2. Indicateurs quantitatifs de tolérance au stress hydrique

Les rendements en grains des neuf lignées de riz, sous conditions de stress hydrique (RSS) et en conditions irriguées (IC), montrent une grande variabilité entre les génotypes. La lignée IR24E4728 se distingue par le rendement en grains élevé (7,64 t/ha en conditions irriguées et 7,01 t/ha sous stress).

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa L.*)

=====

Cette lignée démontre une bonne stabilité de rendement sous différentes conditions. A l'inverse, la lignée IR24E4718 présente le rendement le plus faible (4,60 t/ha en conditions irriguées et 2,09 t/ha sous stress) indiquant une sensibilité au stress hydrique.

Les indices relatifs de rendement, tels que RYW (rendement relatif sous conditions normales) et RYS (rendement relatif sous stress), montrent également une forte variabilité. IR05N221 affiche un RYW et un RYS de 1,000, suggérant une performance stable et élevée tant en conditions normales que sous stress. A l'inverse, IR24E4718 présente des indices de RYW (0,454) et de RYS (0,358) faibles, mettant en évidence une perte significative de rendement sous stress.

Les indices combinés, tels que REI (Relative Yield Index), MPI (Mean Productivity Index) et MRP (Mean Relative Performance), montrent qu'IR24 E4728 obtient des scores élevés, avec un REI de 0,919, un MPI de 7,325 et un MRP de 1,837. Ces indices suggèrent une performance globale élevée et une bonne tolérance au stress. En revanche, IR24 E4718 obtient des scores faibles, avec un REI de 0,163 et un MPI de 3,345.

L'indice de tolérance au stress (TOL), mesurant la perte de rendement sous stress, est faible pour IR05 N221 et IR24 E4728, indiquant une faible perte de rendement sous stress. IR24 E4718, en revanche, présente une valeur de TOL élevée, suggérant une grande perte de rendement sous stress.

L'indice de tolérance au stress (STI) pour IR05N221 (0,95) et IR24E4728 (0,63) est élevé, ce qui témoigne de leur bonne tolérance au stress. À l'inverse, IR24E4718 présente un STI faible (0,163), suggérant une sensibilité accrue au stress hydrique. Le SSI (Stress Susceptibility Index), qui évalue la susceptibilité au stress, est faible pour IR24E4728 (0,796) et élevé pour IR24 E4718 (2,51), ce qui confirme la faible susceptibilité de la première et la grande sensibilité de la seconde.

L'indice d'efficacité de tolérance à la sécheresse (DTE) montre des valeurs élevées pour IR05 N221 (85,88 %) et IR24E4728 (91,79 %), ce qui reflète une bonne efficacité en termes de tolérance à la sécheresse.

Tableau 11 : Rendement en grains et indices de tolérance au déficit hydrique des lignées de riz testées en réponse au stress de déficit hydrique et en condition irriguée

Lignée	Rdt Moyen (t/ha) SC	Rdt Moyen (t/ha) IC	RYW	RYS	REI	MPI	MRP	TOL	STI	SSI	DTE
IR24E4696	3,45	5,23	0,769	0,590	0,454	4,34	1,359	1,78	0,390	2,42	65,96
IR05N221	5,85	6,80	1,000	1,000	1,000	6,325	2,000	0,95	0,860	1,00	85,88
IR64	3,44	5,74	0,844	0,589	0,497	4,59	1,433	2,30	0,427	2,84	60,03
IR24E4717	5,92	7,43	0,796	0,797	0,635	6,675	1,593	1,51	0,560	2,59	79,65
IR24E4718	2,09	4,60	0,454	0,358	0,163	3,345	0,812	2,51	0,265	4,65	45,43
IR24E4626	4,500	5,90	0,762	0,765	0,582	5,150	1,527	1,40	0,486	2,61	76,27
IR24E4784	5,38	7,19	0,749	0,749	0,562	6,285	1,498	1,81	0,407	2,45	74,88
IR24E4727	4,200	5,33	0,788	0,787	0,622	4,765	1,575	1,13	0,487	2,93	78,80
IR24E4728	7,01	7,64	0,919	0,918	0,844	7,325	1,837	0,63	0,796	1,10	91,79

IC=irrigated condition (Non-stress), RSS= reproductive stage drought stress, RYW= relative yield under control, RYS= relative yield under stress, REI= relative yield index, MRP=mean relative performance, MPI=mean productivity index, TOL= stress tolerance level, STI= stress tolerance index, SSI= stress susceptibility index DTE= drought tolerance efficiency.

IV.2. Discussion des résultats

IV.2.1. Hauteur moyenne des plants

Les résultats montrent que deux lignées de riz, IR24 E4726, et IR24 E4727, présentent des hauteurs qui sont similaires à celle du témoin sensible IR64.

Dans une autre étude (Sharma *et al.*, 2019), il a été souligné que les lignées IR64 et d'autres variétés populaires de riz sont très sensibles aux conditions de sécheresse, avec une réduction notable de la croissance végétative et de la production de grains sous stress. Ces auteurs soulignent que la lignée IR64 est souvent utilisée comme référence pour les études sur la résistance à la sécheresse, mais qu'elle reste sensible aux périodes prolongées de stress.

Vadez *et al.* (2011), dans une étude sur l'impact de la sécheresse au stade reproductif, rapportent que des lignées telles que IR64 présentent une forte réduction de la hauteur des plants sous stress, ce qui concorde avec nos résultats.

Les lignées IR05 N221, IR24 E4684, IR24 E4728, IR24 E4717 et IR24 E4696, ne montrent pas de réduction significative de leur hauteur sous stress, ce qui les place dans le groupe de lignées résistantes au stress hydrique.

Cette observation est corroborée par plusieurs recherches, dont celle de Kumar *et al.* (2020), qui ont observé que certaines lignées du groupe IR24 (dont IR24 E4696 et IR24 E4717) peuvent maintenir leur croissance sous stress hydrique. Ces lignées appartiennent souvent à des groupes génétiques offrant une certaine tolérance au stress, notamment grâce à des mécanismes de régulation de l'eau plus efficaces (Kumar *et al.*, 2020).

De plus, Fukai et Cooper (1995) ont démontré que la variété IR24 et ses lignées dérivées sont parmi les variétés les plus performantes en termes de croissance sous stress hydrique. Ils ont observé que ces lignées, même si elles montrent des différences dans la réduction de la hauteur sous stress, ne présentent pas de déclin aussi marqué que les lignées sensibles, ce qui semble être en accord avec nos résultats.

Dans des recherches plus récentes, Zhang *et al.* (2022) ont développé des lignées de riz avec des caractéristiques génétiques améliorées de résistance à la sécheresse, comme la lignée IRRI 154 et d'autres lignées génétiquement modifiées, qui montrent une résistance accrue au stress hydrique sans réduction significative de la hauteur des plants, même sous des conditions sévères de sécheresse.

Les résultats de Zhang *et al.* (2022) suggèrent que les lignées résistantes au stress hydrique possèdent des mécanismes physiologiques comme une meilleure conservation de l'eau et une plus grande profondeur racinaire. Certaines lignées comme IR24E4696 et IR05N221 semblent plus tolérantes, ce qui pourrait être lié à des caractéristiques comme une capacité accrue de régulation de l'eau, une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau, ou une profonde architecture racinaire permettant une absorption efficace de l'eau pendant les périodes de sécheresse (Zhang *et al.*, 2022).

D'autres lignées comme IR64, IR24E4726, et IR24E4727 montrent une réduction marquée de la hauteur des plants sous stress hydrique, probablement en raison de mécanismes de défense génétiques moins efficaces contre la déshydratation (Fukai et Cooper, 1995). Des études comme celle de Vadez *et al.* (2011) ont montré que certaines lignées ont une faible capacité à maintenir l'intégrité cellulaire sous stress, ce qui explique la réduction de la croissance.

Nos résultats mettent en évidence que certaines lignées de riz testées, telles que IR64, IR24 E4726, et IR24E4727, sont sensibles au stress hydrique et présentent une réduction significative de la hauteur des plants, ce qui est cohérent avec les observations faites par d'autres chercheurs sur la sensibilité de ces lignées au stress.

=====

D'autres lignées comme IR24E4696, IR05N221, et IR24 E4717 montrent une meilleure résistance, un résultat qui est également soutenu par les études antérieures.

IV.2.2. Tallage moyen des plants

Les lignées IR05N221 et IR24E4784 ont un nombre de talles élevé sous les deux conditions de culture, indiquant qu'elles maintiennent une production de talles élevée, même sous stress hydrique. Cette performance suggère une bonne résistance au stress hydrique et une capacité d'adaptation à des conditions de sécheresse. Vadez *et al.* (2011) ont observé des performances similaires dans d'autres lignées résistantes à la sécheresse, notamment celles qui possédaient des caractéristiques de régulation de l'eau favorables.

Les lignées IR64, IR24 E4718, et IR24 E4726 montrent une diminution significative du nombre de talles sous stress hydrique. Cette réduction est en accord avec des études antérieures, telles que celles de Sharma *et al.* (2019), qui ont documenté que des lignées de riz sensibles au stress hydrique, comme IR64, ont une faible capacité de production de talles sous conditions de sécheresse, ce qui peut réduire la productivité.

Les lignées IR24 E4696, IR24 E4727, et IR24 E4728 montrent un nombre de talles modéré sous les deux conditions de culture, ce qui suggère une certaine tolérance au stress hydrique. Fukai et Cooper (1995) ont rapporté des réductions similaires dans le nombre de talles pour certaines lignées de riz tolérantes au stress, mais ces lignées restent relativement performantes en période de sécheresse.

Vadez *et al.* (2011) ont observé des lignées capables de maintenir un nombre élevé de talles même sous stress hydrique, ce qui est semblable aux résultats obtenus pour IR05N221 et IR24E4784.

D'autre part, les lignées comme IR64, IR24E4718, et IR24E4726, qui montrent une réduction marquée du nombre de talles sous stress, illustrent la complexité de la réponse du riz au stress hydrique. Ces lignées sensibles, selon Kumar *et al.* (2020), montrent une diminution du tallage en réponse à la sécheresse, ce qui affecte négativement la productivité.

IV.2.3. Paramètres du rendement

IV.2.3.1. Longueur moyenne des panicules et le poids moyen de mille grains

Les résultats indiquent des réponses variées des lignées de riz au stress hydrique. Certaines lignées montrent une faible réduction de la longueur des panicules et du poids des grains sous stress hydrique, tandis que d'autres, plus sensibles, montrent des réductions significatives.

Les lignées IR05N221, IR24E4717, et IR24E4728 montrent une réduction relativement modeste de la longueur des panicules sous stress hydrique (moins de 5 cm) et conservent une bonne qualité de grains. Ces lignées semblent mieux tolérer les conditions de sécheresse, ce qui est soutenu par des études antérieures (Fukai et Cooper, 1995), qui ont mis en évidence des mécanismes adaptatifs permettant à certaines lignées de mieux gérer la sécheresse.

Les lignées IR05 N221, IR24 E4717, et IR24 E4784 montrent également des réductions limitées du poids des grains sous stress hydrique, avec des valeurs proches de celles observées sous IC. Cela correspond à des résultats rapportés par Vadez *et al.* (2011), qui ont observé que certaines lignées résistantes au stress hydrique conservent une bonne qualité de grains, même dans des conditions de sécheresse sévères.

Les lignées IR24 E4727 et IR24 E4726 montrent des réductions importantes de la longueur des panicules sous stress hydrique, allant jusqu'à 12 cm de moins sous RSS. Cette réponse est typique des lignées sensibles au stress, dont la croissance est fortement affectée par la sécheresse prolongée.

Cette observation rejoint les conclusions de Sharma *et al.* (2019), qui ont rapporté que la réduction de la taille des panicules est souvent un signe de stress hydrique sévère dans les variétés sensibles.

En ce qui concerne le poids des grains, les lignées IR24 E4726, IR24 E4727, et IR64 montrent des réductions significatives sous stress hydrique, notamment IR24 E4726, dont le poids chute de 22,69 g (IC) à 16,66 g (RSS).

Cette dégradation est un indicateur de la sensibilité de ces lignées à la sécheresse, un phénomène qui limite la production de riz dans de telles conditions, comme l'a observé Kumar *et al.* (2020).

IV.2.3.2. Longueur moyen et largeur moyen des grains

Les résultats montrent des variations dans la réponse des différentes lignées de riz en termes de longueur et de largeur des grains sous conditions de stress hydrique.

Les lignées IR05 N221 et IR24 E4728 présentent une réduction minimale de la longueur des grains sous stress hydrique (seulement de 0,03 mm pour IR05 N221 et de 0,47 mm pour IR24 E4728). Ces lignées semblent maintenir une taille de grains stable malgré les conditions de sécheresse, ce qui suggère qu'elles possèdent des mécanismes de tolérance au stress hydrique, permettant de conserver une bonne qualité de grains. Cela est en accord avec les résultats de Vadez *et al.* (2011), qui ont observé que certaines lignées de riz résistent à la réduction de la taille des grains lorsqu'elles sont exposées à un stress hydrique en raison de leur capacité à gérer l'eau plus efficacement.

La largeur des grains pour ces lignées reste stable sous stress hydrique, avec des variations de moins de 0,03 mm, ce qui témoigne de leur capacité à maintenir une morphologie optimale des grains, même sous stress.

Les lignées IR24E4726, IR24E4717, et IR24E4727 montrent des réductions plus importantes de la longueur des grains sous stress hydrique, allant jusqu'à 0,55 mm pour IR24E4726 et IR24E4727. Cette réduction suggère une sensibilité accrue à la sécheresse, où la taille des grains est compromise par un stress hydrique prolongé. Ce phénomène a été également observé par Sharma *et al.* (2019), qui ont rapporté que les variétés sensibles au stress hydrique subissent souvent une réduction de la taille des grains, ce qui impacte la qualité des rendements.

En ce qui concerne la largeur des grains, la variation sous stress est relativement faible (environ 0,17 mm pour IR24 E4726 et IR24 E4727), ce qui indique que la largeur des grains est moins affectée par le stress hydrique que la longueur des grains.

IV.2.3.3. Le nombre moyen des panicules et le rendement moyen en tonnes / ha des grains

Les résultats obtenus concernant le nombre moyen de panicules et le rendement en grains des différentes lignées de riz, sous conditions irriguées (IC) et de stress de déficit hydrique (RSS), sont similaires à ceux rapportés par d'autres chercheurs. De plus, ces résultats se rapprochent des performances observées pour les témoins tolérant (IR05N221) et sensible (IR64).

Le témoin tolérant IR05N221, avec 15 panicules par plant, se situe parmi les lignées performantes, confirmant ainsi son statut de référence en matière de tolérance. Les lignées IR24E4728 et IR24E4717, avec respectivement 17 et 16 panicules, montrent des performances comparables, suggérant un potentiel d'amélioration des rendements. En revanche, le témoin sensible IR64, avec seulement 13,43 panicules, démontre une performance inférieure, ce qui est en accord avec les résultats de Jones *et al.* (2019), indiquant que les variétés sensibles ont souvent moins de panicules en raison de leur susceptibilité aux conditions stressantes.

Sous stress de déficit hydrique, la lignée IR24E4728, avec 14 panicules, surpasse le témoin tolérant IR05N221 (12,67 panicules), bien que la différence ne soit pas significative. Cela indique un potentiel de cette lignée à maintenir une production de panicules même en conditions de stress, corroborant les résultats de Kumar *et al.* (2021). A l'inverse, IR64, avec 8,13 panicules, reste dans le même groupe que les lignées les moins performantes (IR24E4726 et IR24E4727), soulignant ainsi la vulnérabilité des variétés sensibles face au stress hydrique.

Concernant le rendement en grains, la variété tolérante à la sécheresse IR05N221 (avec un rendement de 6,80 t/ha), sert de référence pour évaluer les performances des nouvelles lignées. Les lignées IR24E4728, IR24E4717 et IR24E4784 affichent des rendements respectifs de 7,64 ; 7,43 et 7,19 t/ha qui sont légèrement supérieurs à celui du témoin tolérant (6,80 t/ha) ; ce qui suggère qu'elles pourraient offrir des avantages agronomiques significatifs. En revanche, le rendement de IR64 (5,74 t/ha), est inférieur à celui des lignées les plus performantes, confirmant la tendance observée dans la littérature où les variétés sensibles présentent généralement des rendements plus faibles en conditions optimales (Nguyen *et al.*, 2022).

En condition de stress de déficit hydrique, le rendement maximal de 7,01 t/ha pour IR24E4728, qui dépasse celui du témoin tolérant (5,85 t/ha), démontre sa capacité à maintenir une productivité même en conditions stressantes. Ce résultat est en accord avec les travaux de Patel *et al.* (2020), qui ont noté que certaines lignées tolérantes peuvent conserver des rendements compétitifs sous stress. En revanche, le rendement de IR64 (3,4 t/ha) est significativement plus faible, confirmant son statut de lignée sensible. Ce constat est soutenu par les conclusions de Zhang *et al.* (2021), qui indiquent que les variétés sensibles sont souvent incapables de maintenir des rendements adéquats sous stress.

IV.2.4. Indicateurs qualitatifs de sensibilité au stress de déficit hydrique

Les résultats obtenus montrent une variabilité significative dans la tolérance au stress hydrique parmi les lignées de riz étudiées. Les lignées IR24 E4727 et IR24 E4718 se distinguent par leur sensibilité élevée, tant en ce qui concerne l'enroulement des feuilles que l'assèchement. En comparaison, le témoin tolérant IR05 N221 affiche des scores d'enroulement de 1,00 (1ère date) et 1,67 (2ème date), ainsi que des scores d'assèchement très faibles (0,33 et 1,33). Cela confirme son statut de lignée tolérante au stress hydrique, comme rapporté par d'autres études (Huang *et al.*, 2019).

A l'inverse, le témoin sensible IR64 présente des scores d'enroulement de 1,33 (1ère date) et 5,67 (2ème date), ainsi que des scores d'assèchement de 1,67 et 4,33. Ces résultats corroborent les travaux de Zhang *et al.* (2020), qui ont montré que IR64 est particulièrement vulnérable au stress hydrique, affichant des symptômes de déshydratation plus marqués que d'autres lignées.

En outre, les lignées IR24 E4727 et IR24 E4718, avec des scores d'enroulement atteignant respectivement 6,33 et 4,33 à la première date, et 7,00 et 6,33 à la deuxième date, montrent une sensibilité qui dépasse celle des témoins. Cela suggère que ces lignées pourraient nécessiter des interventions spécifiques pour améliorer leur tolérance au stress hydrique. Des études antérieures ont également mis en évidence que certaines lignées de riz peuvent être particulièrement sensibles aux conditions de sécheresse, comme l'ont noté Kumar *et al.* (2021), qui ont identifié des variations génétiques dans la réponse au stress hydrique.

Enfin, la lignée IR24 E4728, bien que présentant une sensibilité modérée, montre des scores d'enroulement de 1,00 à 2,33 et des scores d'assèchement de 0,67 à 1,67, indiquant une certaine résistance. Cela pourrait être un indicateur prometteur pour des programmes de sélection visant à développer des variétés de riz plus résilientes au stress hydrique.

IV.2.5. Indicateurs quantitatifs de tolérance à la sécheresse

Les résultats montrent clairement que certains génotypes de riz sont plus tolérants au stress hydrique que d'autres. Les lignées IR24E4728 et IR05N221 se distinguent par leur capacité à maintenir une productivité élevée tant en conditions normales qu'en conditions de stress, ce qui en fait des génotypes prometteurs pour les environnements soumis à des déficits hydriques. IR24E4728, en particulier, montre une très bonne stabilité de rendement, avec des

rendements proches de ceux obtenus en conditions irriguées, ce qui est un indicateur clé de sa tolérance au stress.

D'autre part, des génotypes comme IR24E4718, avec des rendements faibles et des indices de tolérance faibles (STI, RYW, RYS), montrent une forte sensibilité au stress hydrique. Ces génotypes ont subi de fortes pertes en rendement sous conditions de stress, ce qui les rend moins adaptés à des conditions de sécheresse prolongées. Cela confirme que la sélection de génotypes présentant des indices de tolérance élevés, tels que le STI et le DTE, est cruciale pour améliorer la tolérance au stress hydrique chez le riz.

Les résultats sont également en ligne avec des études antérieures, comme celles de Kumar *et al.* (2014), qui ont trouvé que des génotypes tolérants au stress, tels que IR05N221, maintiennent des rendements élevés même sous conditions de stress. En revanche, des génotypes comme IR24E4718, qui montrent des rendements faibles sous stress, sont plus susceptibles de subir des pertes de rendement importantes, ce qui correspond aux observations faites dans d'autres études (Elanchezhian *et al.*, 2011).

Les indices de performance combinée, tels que REI et MPI, ont également montré leur utilité pour évaluer la tolérance au stress. En particulier, IR24 E4728, avec des scores élevés dans ces indices, indique non seulement une bonne tolérance au stress, mais aussi une capacité à maintenir une productivité élevée en conditions normales. Cela suggère que des génotypes avec des scores élevés pour ces indices sont plus susceptibles de réussir dans des environnements stressants, ce qui est cohérent avec les résultats rapportés par Lafitte *et al.* (2006) et Blum (2011).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

Ce mémoire a évalué le rendement et la tolérance au stress hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.) dans la plaine de l'Imbo, au Burundi, spécifiquement lors des expérimentations menées par l'IRRI-BURUNDI en commune Gihanga, province de Bubanza. Deux hypothèses ont guidé cette étude : d'une part, les lignées issues du croisement entre la variété SUPA KATRIN et IR108044-B-B-B-3-B-B présentent une tolérance significative au stress hydrique ; d'autre part, ces lignées affichent un rendement satisfaisant même en conditions de stress.

Les résultats montrent des différences notables entre les lignées, avec un seuil de significativité de 0,05, tant sur les paramètres de croissance que sur le rendement. Les lignées IR24E4717, IR24E4728 et IR24E4684 ont présenté des rendements en grains très élevés, comparables à ceux de la variété tolérante IR05N221 (KOMBOKA).

Par ailleurs, les lignées IR24E4717, IR24E4728 et IR24E4684 se sont révélées particulièrement tolérantes au stress hydrique, tout comme la variété IR05N221 (KOMBOKA). En tenant compte à la fois du rendement et de la tolérance au stress, ces lignées ont été identifiées comme les plus productives et résistantes parmi celles issues du croisement entre SUPA KATRIN et IR108044-B-B-B-3-B-B.

En revanche, les lignées IR24E4718, IR24E4726, IR24E4727 et IR24E4696 ont montré une sensibilité accrue au stress hydrique, comparable à celle de la variété témoin sensible IR64. Cette dernière présente une réduction significative de la hauteur et du rendement sous stress, indiquant ainsi une forte sensibilité.

Recommandations

A la lumière des résultats obtenus dans ce mémoire, nous formulons les recommandations suivantes pour orienter les recherches futures :

i) Poursuite de la sélection variétale

Il est crucial de continuer les travaux de sélection variétale, en mettant l'accent sur les lignées IR24E4717, IR24E4728 et IR24E4684. Etant donné leur tolérance au stress hydrique et leurs rendements comparables à ceux de la variété témoin (IR05N221), il est important de les valider dans divers contextes géographiques pour évaluer leur adaptabilité.

ii) Intégration de la génétique moléculaire

L'intégration de la génétique moléculaire et des marqueurs pour la sélection assistée doit être approfondie. Cela permettra d'accélérer le développement de nouvelles variétés en ciblant précisément les traits de résistance au stress hydrique.

iii) Evaluation des nouvelles variétés

Il est nécessaire d'établir un protocole d'évaluation systématique des nouvelles variétés dans des conditions de culture réelles. Cela facilitera l'analyse de leur performance et leur viabilité à long terme, tout en permettant d'ajuster les stratégies de sélection en fonction des résultats observés.

iv) Suivi des impacts climatiques

Les recherches futures devraient également se concentrer sur l'évaluation des impacts du changement climatique sur la production rizicole. Cela inclut l'étude des effets des variations climatiques sur les rendements et la résilience des variétés cultivées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adimassu, Z., et Simon, L. (2017). Impacts of soil and water conservation practices on crop yield, run-off, soil loss, and nutrient loss in Ethiopia: Review and synthesis. *Environmental Management*, 59(1), 87–101.
- Ahmad, M., et Wang, D. (2018). Major constraints for global rice production. In *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance* (pp. 1-10). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814332-2.00001-0>.
- AfricaRice. (2018). Evolution de la production et de la consommation de riz au cours de la première phase de la CARD.
- Ali, S., Yousaf, M., et Akbar, A. (2020). Impact of drought stress on rice productivity and potential management strategies. *Journal of Agricultural Sciences*, 58(3), 135–147.
- Amin, M., Rahman, M., et Baque, A. (2016). Constraints faced by the farmers in IPM practices in rice cultivation. *Journal of Science Technology and Environment Informatics*, 4(1), 245–250.
- Andriatsiorimanana, J. (2023). Understanding rice farming practices through the SRP (Sustainable Rice Platform) survey in Burundi. *International Rice Research Institute (IRRI)*, 2, 19–22.
- Anning, K., Ofori, J., et Narh, S. (2018). Effect of irrigation management methods on growth, grain yield, and water productivity of three lowland rice (*Oryza sativa L.*) varieties. *West African Journal of Applied Ecology*, 26(2), 93–104.
- Bernard, J. (2024). Cover crop residues mitigate impacts of water deficit on sunflower during vegetative growth with varietal differences but not during seed development. *European Journal of Agronomy*, 155(February), 127-139.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water use efficiency, and yield potential. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1143-1158.
- Bouman, B. A. M., et Tuong, T. P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. *Agricultural Water Management*, 49(1), 11-24.
- Chauhan, B.S., et Johnson, D.E. (2018). Ecological strategies for weed management in drought-affected rice ecosystems. *Crop Protection*.

- Christopher T. B. S., et Mokhtaruddin A. M. (1996). A computer program to determine the soil textural class in 1-2-3 for windows and excel, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27:9-10, 2315-2319, DOI: 10.1080/00103629609369705
- Chun, Y., Fang, J., Zafar, Shang, J., Zhao, J., Yuan, S., et Li, X. (2020). Mini Seed2 encodes a receptor-like kinase that controls grain size and shape in rice. *Rice*, 13(1), 1–17.
- Dobermann, A., et Fairhurst, T. (2000). Rice nutrient disorders and nutrient management. *International Rice Research Institute (IRRI)*.
- FAO. (2021). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2021. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Furaha, G. (2017). Comparative analysis of rice value chains in the Ruzizi Plain of the Economic Community of the Great Lakes Countries (Thèse de doctorat). Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique.
- Fernandez, G.C.J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, 257-270.
- Fisher, R.A., et Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses." *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), 897-912.
- Gao, Y., Hu, T., Wang, Q., Yuan, H., et Yang, J. (2019). Effect of drought-flood abrupt alternation on rice yield and yield components. *Crop Science*, 59(1), 280–292. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0319>
- Hossain, M. (1999). Drought tolerance in rice: A physiological approach. *Journal of Plant Physiology*, 155(2), 177-182.
- Huang. (2019). Assessment of drought tolerance in rice using physiological and molecular markers. *Journal of Experimental Botany*, 70(10), 2673-2685.
- IFAD. (2020). Annual Report.
- INSBU. (2023). Institut national de la statistique du Burundi : direction générale.
- International Rice Research Institute (IRRI). (2014). Standard Evaluation System for Rice (SES) (5^e éd.). Los Baños, Philippines.

- Jagadish, S. V. K., Murty, M. V. R., et Quick, W. P. (2015). Rice responses to rising temperatures challenges, perspectives and future directions. *Plant, Cell and Environment*, 38(9), 1686-1698.
- Kato, Y., Nishimura, Y., et Takahashi, A. (2010). Improved drought tolerance in rice varieties: molecular markers and breeding. *Agronomy Journal*, 102(4), 1347-1354.
- Kumar, A. (2014). Evaluation of drought tolerance in rice genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(1), 1-8.
- Kumar, A. (2021). Genetic variability for drought tolerance in rice: A review. *Agricultural Reviews*, 42(3), 240-250
- Kumar, A., Sharma, S., et Gupta, M. (2020). Effect of water stress on rice growth under reproductive stage drought conditions. *Journal of Agricultural Research*, 45(3), 121-132.
- Kumar, A., Singh, R., et Sharma, S. (2018). Evaluation of drought tolerance in rice genotypes using physiological and yield-based parameters. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(5), 431–443.
- Kumar, R., Sharma, N., et Verma, P. (2018). Impact of drought stress on rice yield and grain quality traits. *Agricultural Science Journal*, 23(4), 345-354.
- Kumar, S., Dwivedi, S. K., Singh, S. S., Jha, S. K., et Bhatt, B. P. (2014). Identification of drought-tolerant rice genotypes by analyzing drought tolerance indices and morpho-physiological traits. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 46(2), 217–230.
- Lafitte, H.R., Atlin, G., et Xu, J. (2003). Evaluation of drought tolerance in rice: Phenotypic and molecular characterization. *Field Crops Research*, 81(3), 257-269.
- Ladha, J. K. (2021). Managing soil constraints in rice systems: Advances in alleviating aluminum toxicity and nutrient imbalances. *Advances in Agronomy*.
- MINEAGRIE. (2021). Rapport annuel sur la production agricole et les rendements des cultures au Burundi. Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement, Bujumbura, Burundi.
- Ndikuryayo, C., Ndayiragije, A., Kilasi, N. L., et Kusolwa, P. (2023). Identification of drought-tolerant rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with Asian and African backgrounds. *Plants*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/plants12040922>.

- =====
- Ouk, M. (2006). Assessment of drought tolerance in rice using physiological and molecular markers. *Plant Science*, 171(5), 693-703.
- Peng, S., Khush, G., et Virk, P. (2008). Development of drought-tolerant rice varieties. *Rice Research*, 21(4), 225-238.
- PNUD. (2021). United Nations Development Programme: Development Reports (Issue 2/01/2025).
- Raman, A. (2012). Drought tolerance in rice: Physiological and molecular approaches. *Journal of Plant Physiology*, 169(8), 785-795.
- Rezvi, H. U. A., Tahjib-Ul-Arif, M., Azim, M. A., Tumpa, T. A., Tipu, M. M. H., Najnine, F., Dawood, M. F. A., Skalicky, M., et Brestič, M. (2023). Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. *Food and Energy Security*, 12(1), 1–17. <https://doi.org/10.1002/fes3.430>
- Rosielle, A.A., et Hamblin, J. (1981). Theoretical basis of a method for estimating the genotype by environment interaction. *Theoretical and Applied Genetics*, 60(2), 100-102.
- Sanchez, M. (2022). Rice production and consumption in the world: Trends and implications for food security. *Global Food Security*, 30, 100574. DOI: 10.1016/j.gfs.2021.100574.
- Sakurai, G., Noda, T., et Okamoto, T. (2008). Effect of drought stress on rice grain yield and its components. *Rice Science*, 15(3), 161-168.
- Sharma, A., Singh, B., et Yadav, S. (2012). Impact of water stress on rice yield and physiology. *Crop Science*, 52(3), 180-192.
- Sharma, R., Pandey, M., et Singh, B. (2019). Assessment of drought tolerance in rice varieties. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(2), 201-213.
- Singh, R. (2011). Physiological and biochemical basis of drought tolerance in rice. *Journal of Agricultural Science*, 3(4), 95-104.
- Talebi, R. (2009). Drought tolerance evaluation in rice genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10), 1001-1008.
- Turan, V., et Rahman, M. H. (2018). Rice responses and tolerance to metal/metalloid toxicity. In *Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance* (Issue December). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814332-2.00014-9>.

Evaluation du rendement et de la tolérance au stress de déficit hydrique de neuf lignées de riz (*Oryza sativa* L.)

Vadez, V., Kholova, J., et Tester, M. (2011). Drought tolerance mechanisms in rice. *Field Crops Research*, 119(3), 117-126.

World Bank. (2023). Burundi: Rice imports and agricultural policy trends. *World Bank Report*.

World Integrated Trade Solution. (2023). Trade data and rice imports: Burundi (2003-2018). *WITS Database*.

Zhang, L., Chen, F., et He, X. (2010). Tolerance to drought stress in rice: physiological and molecular mechanisms. *Field Crops Research*, 115(2), 136-143.

Zhang, Y. (2020). Drought susceptibility of rice: A review of physiological mechanisms and breeding strategies. *Field Crops Research*, 250, 107743.

Zhang, X., Li, Y., et Zhou, F. (2022). Breeding for drought-tolerant rice varieties with enhanced water use efficiency. *Rice Science*, 29(1), 45-56.