

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DES MATIERES.....	iii
GLOSSAIRE.....	vi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES PHOTOS.....	x
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>Partie I : GENERALITES</b>	
1 - CONNAISSANCE SUR LE RIZ.....	3
1.1. Origine.....	3
1.2. Botanique.....	3
1.2.1. Classification.....	3
1.2.2. Description morphologique.....	3
1.3. Écologie.....	4
2 - CONNAISSANCE SUR L'EAU DANS LA PLANTE.....	6
2.1. Importance de l'eau dans la plante.....	6
2.2. La circulation de l'eau dans la plante.....	7
3 - CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	7
3.1. Causes.....	7
3.2. Conséquences.....	8
3.3. Mesures d'accompagnement.....	9
4 - STRESS HYDRIQUE.....	9
5 - ADAPTATIONS DE LA PLANTE FACE AU STRESS HYDRIQUE.....	10
5.1. Esquive ou échappement.....	10
5.2. Évitement de la déshydratation des tissus.....	10
5.3. Résistance à la déshydratation des tissus.....	11
<b>Partie II : MATERIELS ET METHODES</b>	
1 - LIEU D'ETUDE.....	12
2 - MATERIEL VEGETAL.....	12
3 - MATERIEL NON BIOLOGIQUE.....	13
4 - PROTOCOLE EXPERIMENTAL.....	14
4.1. Traitement utilisé.....	14
4.2. Mode de culture.....	14

4.2.1. Préparation du pot de culture .....	14
4.2.2. Semis.....	14
4.2.3. Arrosage et mode de traitement.....	14
4.2.4. Suivi .....	15
5 - PARAMETRES CONSIDERES .....	15
5.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	15
5.2. Analyse hygrométrique du sol .....	15
5.2.1. Capacité de rétention maximale en eau du sol au champ .....	15
5.2.2. Humidité au point de flétrissement.....	16
5.2.3. Humidité du sol aux différents traitements utilisés .....	16
5.3. Paramètres considérés pendant la phase végétative.....	16
5.3.1. Taux de germination .....	16
5.3.2. Cinétique de germination .....	16
5.3.3. Taux de viabilité de la plante.....	16
5.3.4. Nombre total de talles .....	17
5.3.5. Teneur en chlorophylle.....	17
5.3.6. Production de biomasse racinaire .....	17
5.4. Paramètres considérés pendant la phase reproductive .....	17
6 - ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES.....	17
<b>Partie III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS</b>	
1- CARACTERISTIQUES DU SOL UTILISE.....	18
1.1. Caractéristiques physico-chimiques .....	18
1.2. Capacité de rétention maximale en eau du sol.....	18
1.3. Humidité au point de flétrissement.....	19
1.4. Humidité du sol aux différents traitements utilisés .....	19
2 - CARACTERISTIQUES DES PLANTES TESTEES .....	20
2.1. Pendant la phase végétative .....	20
2.1.1. Capacité germinative des graines.....	20
2.1.2. Cinétique de germination .....	21
2.2. Effets du stress hydrique pendant la phase végétative.....	21
2.2.1. Taux de viabilité des plantes .....	22
2.2.2. Nombre total des talles .....	23
2.2.3. Hauteur maximale des plantes .....	24
2.2.4. Nombre des feuilles par plante en maturité .....	25

2.2.5. Teneur en chlorophylle .....	26
2.2.6. Effets du stress hydrique sur la biomasse souterraine .....	27
2.2.6.1. Nombre de racines fasciculées .....	27
2.2.6.2. Longueur maximale des racines .....	28
2.3. Effets du stress hydrique pendant la phase reproductive.....	29
2.3.1. Nombre des talles fertiles .....	29
2.3.2. Production des graines.....	31
<b>3 - SYNTHÈSE DES RESULTATS OBTENUS .....</b>	<b>32</b>
<b>Partie IV : DISCUSSION</b>	
1 - LE STRESS HYDRIQUE ET LE SOL.....	34
2 - LE STRESS HYDRIQUE ET LA PHASE VEGETATIVE .....	35
3 - LE STRESS HYDRIQUE ET LA PHASE REPRODUCTIVE.....	36
<b>Partie V: CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>40</b>
ABSTRACT	
RESUME	

# GLOSSAIRE

- Abiotique** : Ce qui est en rapport avec les objets non vivants. Exemples : les facteurs environnementaux dont la température, l'air, l'eau etc... .
- Adaptation** : Ensemble des phénomènes qui permettent la mise en accord et l'interaction harmonieuse d'un individu, avec de nouvelles conditions d'environnement, en particulier des circonstances éprouvantes.
- Anthèse** : C'est la période pendant laquelle une fleur est complètement ouverte et fonctionnelle. Cette période correspond à partir de la phase de la formation de l'anthère jusqu'à sa maturation pour libérer le pollen.
- Allogamie** : Il s'agit d'une fécondation croisée dont les gamètes mâles et femelles ne proviennent pas de la même fleur.
- Autogamie** : Il s'agit d'une autofécondation croisée dont les gamètes mâles et femelle proviennent de la même fleur d'un individu.
- Biotique** : Ce qui est en rapport avec les objets vivants. Exemples : les Végétaux et les Animaux.
- Diluvienne** : Ce qui en rapport avec l'abondance d'un phénomène quelconque, par exemple la pluie qui peut être abondante ou intense, conduisant à des hauteurs d'eau très importantes.
- Contrainte** : Il s'agit de quelque chose qui provoque à l'individu d'agir contre sa volonté.
- Germination** : C'est la sortie du cotylédon de la graine qui constitue la phase initiale du processus de développement d'une plante.
- Poaceae** : Ce sont des plantes herbacées annuelles possédant des tiges creuses et cylindriques comportant des nœuds.
- Riziculture** : Il s'agit de la culture de riz.
- Semence** : Organe végétal qui donne naissance à un végétal tout entier identique au pied mère.
- Stress** : Il s'agit d'une réaction d'adaptation d'un individu face à des conditions environnementales.
- Tanety** : Terres sur reliefs de collines (Hauts Plateaux).
- Texture d'un sol** : C'est l'ensemble des propriétés qui découlent de la composition

granulométrique du sol (teneur en pourcentage de sables grossiers et fins, de limons, d'argile, d'humus et de calcaire).

Variété : Groupe d'organismes similaires au sein d'une espèce.

# LISTE DES ABREVIATIONS

- ABA : Acide abscissique
- AO : Ajustement Osmotique
- CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone
- FAO : Fond and Agriculture Organization
- F3729 : FOFIFA 3729
- F3737 : FOFIFA 3737
- FOFIFA : FOibem-perenena momba ny Flkarohana ampiharina amin'ny  
Fampanandrosoana ny eny Ambanivohitra (Centre National de la Recherche  
Appliquée au Développement Rural)
- H : Humidité
- J : Jour
- Hcc : Humidité à la capacité au champ
- Hpf : Humidité au point de flétrissement
- K : Potassium
- LEA : Late Embryogenis Abundant Proteins
- méq : Milliéquivalent
- pH : Potentiel Hydrique
- Ppm : Partie par million
- T : Traitement
- t/ha : tonne par hectare
- UBAP : Unité Biotechnologie et Amélioration des Plantes

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Taux de germination des graines de riz des deux variétés F3729 et F3737 14 jours après semis.....	20
Figure 2 : Cinétique de germination des deux variétés F3729 et F3737 .....	21
Figure 3 : Taux de viabilité des plantes des deux variétés de riz F3729 et F3737 .....	22
Figure 4 : Nombre total des talles par plante par variété et par traitement.....	23
Figure 5 : Effets du stress hydrique sur la croissance en hauteur des deux variétés de riz.	25
Figure 6 : Nombre des feuilles produites pour les deux variétés F3729 et F3737 .....	26
Figure 7 : Teneur en chlorophylle des deux feuilles (sous paniculaire et paniculaire) des deux variétés F3729 et F3737 .....	27
Figure 8 : Nombre de racines fasciculées des deux variétés F3729 et F3737 .....	28
Figure 9 : Longueur maximale des racines des deux variétés F3729 et F3737 .....	29
Figure 10 : Nombre des talles fertiles des deux variétés F3729 et F3737 .....	30
Figure 11 : Pourcentage des graines pleines des deux variétés F3729 et F3737 .....	31

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Graines des deux variétés FOFIFA 3729 et FOFIFA 3737.....	12
Photo 2 : Mortier.....	13
Photo 3 : Tamis de maille de 2 mm .....	13
Photo 4 : Bécher.....	13
Photo 5 : Pot contenant de sol.....	13
Photo 6 : Papier Whatman .....	13
Photo 7 : Boites à tare .....	13
Photo 8 : Balance électronique .....	13
Photo 9 : Etuve.....	13
Photo 10 : Production de talles au T5 F3729 .....	24
Photo 11 : Production de talles au T5 F3737 .....	24

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Distribution des différentes variétés du riz pluvial les plus cultivées par région écologique .....	4
Tableau 2 : Différents traitements utilisés pour évaluer le stress hydrique .....	14
Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé .....	18
Tableau 4 : Capacité de rétention maximale en eau du sol utilisé .....	19
Tableau 5 : Humidité au point de flétrissement (H <sub>pf</sub> ) .....	19
Tableau 6 : Humidité du sol aux différents traitements utilisés (H <sub>st</sub> ) .....	19
Tableau 7 : Résultats des paramètres des deux variétés testées .....	32

# LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DES DEUX VARIETES DE RIZ (FOFIFA, 1989.....	xiii
1.1 : Caractéristiques de la variété MAROTIA .....	xiii
1.2 : Caractéristiques de la variété TELORIRANA .....	xiv
ANNEXE 2 : DONNEES CLIMATIQUES DANS LA SERRE PENDANT L'EXPERIMENTATION .....	xv
ANNEXE 3 : CLASSEMENT D'APPRECIATION DE TENEUR EN ELEMENT MINERAL DANS LE SOL D'APRES RIQUIER EN 1966 .....	xvi
ANNEXES 4 : MALADIES .....	xvii

# **INTRODUCTION**

Le riz est considéré comme étant l'aliment de base dans la plupart de différents pays de la planète (BRIGITTE, 2007). En effet, 165 millions d'hectares de superficies mondiales sont consacrées à la riziculture (FAO, 2012). En Afrique, le riz pluvial occupe 42% des surfaces attribuées à la riziculture sur le continent (DAF, 2009).

À Madagascar, le pays a une tradition rizicole avec une consommation annuelle en moyenne de riz par individu estimée à 118 kg en milieu urbain et à 138 kg en milieu rural avec un rendement moyen annuel en riz estimé à 2,7 t/ha (AHMADI et al, 2013 ; PENOT et al, 2011). Dans cette grande île, la majorité des citoyens sont des agriculteurs pratiquant la riziculture. Pour cela, il existe plusieurs types de cultures sur le riz à savoir : la culture de riz irrigué avec 78,7% de surface cultivée environ, la culture de riz de « Tavy » (défriche-brulis) avec 12,9% et la culture de riz pluvial sur tanety avec une superficie de 8,4% environ sur une superficie totale de 1 245 000 hectares (MAEP, 2007).

Les superficies pour la culture de riz irrigué dans l'île sont déjà saturées à cause de l'augmentation démographique. Ainsi, les paysans utilisent en général les plateaux pour cultiver le riz pluvial. Ce dernier exige la présence de la pluie. Pour cela, plusieurs variétés issues de l'*Oryza sativa* L. ont été utilisées dans cette culture (AHMADI et al, 2013).

Cependant, plusieurs contraintes perturbent cette culture à savoir, les contraintes biologiques liées à la présence des ravageurs comme les vers blancs, les criquets, les rats et la pyriculariose, etc... (AHMADI et al, 2013) et la contrainte climatique (abiotique). Exemple la sécheresse due au changement climatique qui est très accentuée actuellement entraînant l'arrivée tardive de la pluie et la rareté de l'eau dans les zones de culture provoquant un stress hydrique chez les plantes de riz. Par conséquent, des perturbations ont été observées au cours de leur développement et de leur croissance causant par la suite une baisse de la récolte de ce riz pluvial (N'DA, 1984).

Pour satisfaire le besoin de la population malagasy, le gouvernement malagasy importe des centaines de tonnes de riz en provenance de l'Asie (Thaïlande, Inde, etc..) environ 200 000 t/an ([http1](#)).

Afin de contribuer à l'amélioration de la production de riz au pays, il est nécessaire d'utiliser les plateaux qui sont très vastes pour la riziculture pluviale, mais cette culture dépend intensivement de l'arrivée de la pluie. C'est la raison pour laquelle que cette étude a été menée dont l'objectif principal consiste à étudier les effets du stress hydrique sur la culture de riz pluvial.

Spécifiquement, elle vise à :

- 1/ Déterminer les effets du stress hydrique sur la croissance et le développement de deux variétés de riz pluvial FOFIFA 3729 et FOFIFA 3737,
- 2/ Évaluer l'effet du stress hydrique sur la production et
- 3/ Identifier la variété la mieux adaptée à un tel niveau de stress.

Ce travail comporte cinq parties pour bien le cerner : après l'introduction, la première partie porte sur les généralités qui résument l'état de la connaissance sur le riz, la connaissance de l'eau dans la plante, le changement climatique et le stress hydrique, ensuite la deuxième rapporte les matériels et méthodes utilisées, la troisième renferme les résultats et interprétations puis la quatrième sera consacrée à la discussion, enfin la conclusion et les perspectives.

# **Partie I : GENERALITES**

# 1 - CONNAISSANCE SUR LE RIZ

## 1.1. Origine

Le riz a deux origines : une asiatique (Inde) et une autre Africaine (SECOND, 1985). Il est désormais admis que l'*Oryza sativa* a été domestiquée à partir de formes annuelles de l'espèce *Oryza rufipogon* il y a environ 8.000 à 10.000 ans de manière indépendante en Chine et en Inde. L'*O. rufipogon* est une espèce complexe qui comporte un continuum de formes annuelles, intermédiaires et pérennes et de formes autogames, intermédiaires et allogames (SECOND, 1985).

## 1.2. Botanique

### 1.2.1. Classification

Selon la classification ci-dessous, le riz appartient au :

Règne :	VEGETAL
Embranchement :	SPERMATOPHYTES
Sous-embranchement :	ANGIOSPERMES
Classe :	LILIOPSIDA
Sous-classe:	COMMELINIDAE
Ordre :	POALES
Famille :	POACEAE
Sous-famille :	POOIDEAE
Tribu :	ORYZEAEE
<b>Genre :</b>	<b><i>Oryza</i></b>
<b>Espèce :</b>	<b><i>sativa</i> L.</b>
<b>Sous espèce :</b>	<b><i>japonica, indica et javanica</i></b>

### 1.2.2. Description morphologique

**Racines** : Fasciculées avec des racines secondaires, chaque racine porte 10 à 30 radicules avec des poils absorbants (http2).

**Tiges** : Le riz est caractérisé par un tallage abondant, des tiges creuses, glabres, divisées en entre-nœuds séparés par des nœuds. Les entre-nœuds de la base donnent des tiges secondaires, puis tertiaires etc. C'est la talle du riz.

**Feuilles** : Elles sont sessiles et alternes comprenant une gaine, un limbe dont la séparation est marquée par une ligule bifide.

**Inflorescence** : Une inflorescence en panicule portant des épillets uniflores. La fleur hermaphrodite renferme six étamines, un ovaire à un ovule, un style très court à deux stigmates. La fleur est protégée par deux glumes très petites et deux glumelles.

**Fruits** : Après fécondation, il se forme un caryopse enveloppé de deux glumelles adhérentes appelé « Paddy ».

**Grain** : Le grain de riz est enveloppé par deux glumelles intimement serrées l'une à l'autre après la pollinisation et dont la réunion forme l'apex (http2).

### 1.3. Écologie

Le riz pluvial se répartit dans différentes zones d'altitude. Le tableau 1 ci-dessous indique la distribution des variétés de riz pluvial adaptées à la grande île (RAKOTONIRAINY, 2006).

**Tableau 1 : Distribution des différentes variétés du riz pluvial les plus cultivées par région écologique**

Régions	Variété adaptée
NORD	3290 : IRAT 112 3737 : Telorirana
NORD OUEST ET DE LA SOFIA	3895 : Mahavonjy/NDR 80 3872 : Fotsiambo (B22)
AMBATONDRAZAKA	3872 : Fotsiambo (B22) 3290 : IRAT 112 NERICA 3 et 4
MOYEN OUEST	(Tsiroanomandidy – Mandoto) 3728 : Maharavo 3729 : Marotia 3730 : Mavolamba 3737 : Telorirana 3872 : Fotsiambo ou B22 3290 : IRAT 112 4131 : FOFIFA 154 4178 : FOFIFA 159 4355 : FOFIFA 161 NERICA 3 et 4 4368 : Chomrong-Dian 4370 : FOFIFA 172

HAUTES TERRES	4125 : FOFIFA 133
CENTRALES	4355 : FOFIFA 161
	4370 : FOFIFA 172
	4368 : Chomrong
	4131 : FOFIFA 154
	4176 : FOFIFA 157
	4177 : FOFIFA 158
	4178 : FOFIFA 159
SUD – EST	3290 : IRAT 112
	3737 : Telorirana
	3872 : Fotsiambo
	NERICA 3 et 4

(Source : RAKOTONIRAINY, 2006).

- **Besoin en chaleur**

Le riz a de gros besoins en chaleur. Il faut des minima de :

- ☞ 13°C pour la germination
- ☞ 22°C pour la floraison et la pollinisation
- ☞ 19°C pour la maturation.

Une moyenne de 22 à 30°C durant le cycle (KABORE, 2011).

- **Besoins en eau**

Les besoins en eau du riz pluvial dépendent du cycle de la variété cultivée et du climat local qui régit l'importance de la transpiration de la plante (N'DA, 1984). Ils sont généralement compris entre 450 mm pour les variétés à cycle court et 650 mm pour les variétés à cycle long. Pendant la phase critique de l'épiaison jusqu'au stade grain laiteux, les besoins en eau sont élevés en général de l'ordre de 5 à 6 mm par jour. Cette phase critique doit donc se situer à une période où la pluviosité est suffisante pour couvrir ces besoins et régulière, surtout dans les sols à faible capacité de stockage de l'eau.

Compte tenu des pertes par ruissellement et par drainage, il est rare de pouvoir cultiver du riz pluvial sans l'assistance d'une nappe ou d'une irrigation d'appoint dans les zones

où la pluviosité moyenne pendant la période de culture est inférieure à 800 mm (N'DA, 1984).

- **Besoin en lumière**

Le riz comme le cas des autres plantes demande de la lumière pour la photosynthèse. En effet, les actions de la lumière sur le riz sont fonction de la variété mais aussi des phases végétatives de la plante. Ces actions sont complexes et se combinent avec celles des autres éléments du milieu notamment la température (ANGLADETTE, 1966). Ainsi, le photopériodisme a une forte influence sur la durée du cycle et le rendement (MAYER et BONNEFOND, 1973).

- **Besoin en sols**

Il convient de choisir un sol qui puisse tamponner les variations climatiques, c'est-à-dire :

- ☞ Un sol à bonne capacité de rétention pour l'eau,
- ☞ Un sol léger et non tassé (perméable),
- ☞ Un sol contenant une proportion sensiblement égale d'argile de limon et de sable.
- ☞ Un sol profond à texture équilibré

Le pH de sol varie entre 4,5 à 8,7 (<http2>).

## **2 - CONNAISSANCE SUR L'EAU DANS LA PLANTE**

### **2.1. Importance de l'eau dans la plante**

L'eau est indispensable à la plante comme à tout être vivant (N'DA, 1984). Lorsque le végétal est bien hydraté, les tissus végétaux sont gorgés d'eau. Cette dernière assure le port érigé des végétaux. Elle maintient les structures cellulaires et permet le déroulement du métabolisme de la plante. Elle transporte les substances nutritives depuis le sol jusqu'à la partie aérienne à travers les vaisseaux conducteurs du xylème. De même elle contribue au refroidissement de la plante par la transpiration.

La quantité d'eau disponible dans le végétal résulte du bilan entre l'absorption et la transpiration. Cet équilibre est toujours précaire.

En effet, il apparaît un manque d'eau au niveau de la plante lorsque l'absorption est inférieure à la transpiration. Ce manque d'eau peut être causé, soit par une baisse du

potentiel de l'eau dans le sol, soit parce que la demande évaporative devient trop importante. Si le phénomène s'accroît, les tissus se déshydratent et lorsque le point de flétrissement permanent est atteint, la plante se fane irréversiblement. Le point de flétrissement permanent pour un sol (PF) est l'humidité en-dessous de laquelle un végétal ne peut plus se réhydrater même en absence de transpiration (DAUDET, 1970). La valeur du PF dépend beaucoup plus du type de sol que des végétaux (BRIGGO & SANTZ, 1912).

## **2.2. La circulation de l'eau dans la plante**

Il est généralement admis trois sites de circulation de la plante : la racine, la tige et la feuille (N'DA, 1984). L'eau pénètre dans la racine par les poils absorbants. Elle traverse les différentes couches du cortex, diffuse à travers l'endoderme jusqu'au cylindre central, puis accède aux étages supérieurs par le xylème. A ce niveau, la circulation de l'eau se fait par vascularisation et par simple écoulement avant d'atteindre les cellules du mésophylle. L'eau est transférée ensuite dans les chambres sous stomatiques où elle passe de la phase liquide à la phase vapeur avant de diffuser dans l'atmosphère par les stomates. C'est donc la feuille qui assure les besoins de transpiration de la plante.

## **3 - CHANGEMENT CLIMATIQUE**

Le changement climatique, aussi connu sous l'expression réchauffement planétaire, est un phénomène caractérisé par une augmentation des températures moyennes des océans et de l'atmosphère, au niveau planétaire, perturbant l'équilibre du climat mondial (http3)

### **3.1. Causes**

Les causes du changement climatique sont d'origines naturelles et/ou anthropiques.

#### **❖ Naturelles**

- L'éruption volcanique constitue l'une des causes naturelles qui entraîne un réchauffement du climat.
- L'ensoleillement, étant donné que le climat sur terre dépend du soleil, il est évident que les variations solaires influent sur le climat terrestre.

Ces deux phénomènes sus cités provoquent le réchauffement climatique, mais de façon lente et à faible échelle.

### ❖ **Anthropique**

- Développement industriel : depuis l'apparition des technologies utilisant les ressources naturelles, l'Homme n'a cessé de surexploiter les ressources minières ou organiques de la planète. L'émission du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) par les engins augmente la quantité de gaz pouvant retenir la chaleur du soleil dans l'atmosphère terrestre. Ces CO<sub>2</sub> sont généralement produits par la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel).
- La déforestation : principale cause indirecte du changement climatique car la plupart des CO<sub>2</sub> émis par les industries sont captés et stockés par les plantes.
- Le déboisement aussi, favorise l'augmentation de la surface terrestre non couverte, favorise la pénétration dans le sol du rayon IR (Infra Rouge) et augmente la chaleur au niveau de l'atmosphère.
- Donc, la destruction de la forêt provoquera l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

## **3.2. Conséquences**

- ☞ Le signe le plus marquant du réchauffement, c'est la fonte des glaciers des hautes montagnes et de la banquise aux pôles. Cette fonte entraîne la montée conséquente du niveau de la mer et des océans, estimé à 10-20 cm au cours du 20<sup>ème</sup> siècle.
- ☞ La réduction du volume d'eau potable et les glaciers.
- ☞ La sécheresse anormale dans certaines régions du globe, les pluies diluviennes entraînant des inondations dans d'autres régions et augmentation de la fréquence des cyclones et tempêtes tropicales.
- ☞ Les scientifiques constatent que certaines espèces animales et végétales ont tendance à migrer vers le nord, échappant au réchauffement que subit le sud.
- ☞ La montée du niveau des océans et de la mer entraîne la réduction marquée de la surface des îles, une île habitée ayant déjà été rayée de la carte, en 2006 : il s'agit de Lohachara, dans le delta du Gange, en Inde.
- ☞ Une grande menace pèse sur les espèces végétales et animales insulaires à cause de cette réduction de la surface.

- ☞ L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des cataclysmes naturels est très dangereuse pour les îles à cause de leur proximité de la mer et l'inexistence d'endroit où les espèces locales peuvent se réfugier.

### **3.3. Mesures d'accompagnement**

La dépense des énergies fossiles, polluantes et épuisables est parmi les causes du changement climatique. Ainsi, il faut opter à l'utilisation des énergies renouvelables. Dans le cas de riziculture, il est sollicité de pratiquer une agriculture respectueuse de l'environnement, par exemple il est préférable d'utiliser des variétés mieux adaptées aux changements climatiques que de dépenser de l'énergie fossile à l'irrigation ou l'arrosage.

## **4 - STRESS HYDRIQUE**

Selon PASSIOURA (2004), il définit le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante.

Les effets du stress hydrique s'observent aux différents stades à partir de leur sensibilité. En effet, le riz contient deux stades de son développement qui sont très sensibles au déficit hydrique :

### **➤ Sensibilité à la phase végétative**

La sensibilité des céréales en général et du riz en particulier est souvent observée aux différents niveaux : le taux de germination, la hauteur des plantes, le nombre des talles ainsi que la longueur des racines (MATSUSHIMA, 1968).

À cette phase, en effet, le déficit hydrique affecte en premier lieu le taux et la cinétique de la germination des grains, puis le taux de la germination, il touche également la taille de la plante, il provoque le ralentissement de la production des talles qui sont importantes dans la détermination du rendement. La compensation de cet effet défavorable est observée chez le riz à long cycle par l'apparition des nouvelles talles après la période de sécheresse.

Cependant, si la sécheresse persiste, le riz entre dans un état irréversible appelé état de flétrissement ;

### ➤ **Sensibilité à la phase reproductive**

Chez toutes les céréales, la phase reproductive est potentiellement le plus sensible au déficit hydrique et les conséquences sur le rendement sont le plus grave (DANCETTE, 1974 ; BOYER et Mc PHERSON, 1975 ; BEGG et TURNER, 1976).

En effet, cette phase est caractérisée par plusieurs phases pendant lesquelles les processus de développement sont très sensibles face au déficit hydrique, il comporte : **l'initiation paniculaire, l'anthèse et le remplissage des graines.**

**L'initiation paniculaire**, un déficit hydrique qui surgit pendant cette phase diminue le nombre d'épillets par panicule ;

**L'anthèse**, quand le stress survient lors de l'anthèse cause une stérilité des fleurs ;

**Le remplissage des graines**, le stress affecte également la graine en diminuant son poids,

La phase reproductive est déterminante pour le rendement.

Cependant, le riz est une plante selon laquelle les stades qui se déroulent à la phase reproductive ne se font pas d'une façon synchronique sur l'ensemble des talles. Ce qui représente un avantage quand la sécheresse est à courte durée (N'DA, 1984).

## **5 - ADAPTATIONS DE LA PLANTE FACE AU STRESS HYDRIQUE**

L'adaptation se définit comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicités connues. Pour LEVITT (1980), l'adaptation prend trois formes distinctes : l'esquive, l'évitement et la résistance ou tolérance.

### **5.1. Esquive ou échappement**

Cette forme consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable où le stress est moins intense. Il s'agit bien d'un travail des agriculteurs de choisir les variétés qui coïncident avec la période où le stress est intense.

### **5.2. Évitement de la déshydratation des tissus**

Sous stress hydrique la plante déploie des stratégies pour éviter ce stress. En effet, la fermeture des stomates causée par l'acide abscissique (ABA), ce dernier est considéré comme étant une hormone de stress, joue un rôle majeur dans l'évitement du stress

(TARDIEU, 1996). La plante maintient aussi l'absorption de l'eau, grâce à un système racinaire mieux adapté (RICHARDS *et al*, 1997). Il est mentionné que la senescence et le dépôt de la cire sont aussi des moyens pour éviter la perte d'eau (BENSEMANE *et al*, 2011). Toutes ces stratégies citées précédemment permettent enfin le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante.

### **5.3. Résistance à la déshydratation des tissus**

La tolérance à la déshydratation consiste à un ensemble d'aptitudes à résister aux effets d'un faible potentiel hydrique. En effet, la réduction de l'élongation des feuilles et sa promotion de l'extension des racines sont parmi les moyens utilisés pour la plante afin de tolérer la déshydratation (TARDIEU, 1996). La déshydratation ou le traitement à l'ABA des tissus mènent à une synthèse massive des nouvelles transcriptions protéiques. Ces dernières codent pour la synthèse de polypeptides de protéines dites LEA (Late Embryogenesis Abundant proteins) protéines, qui s'expriment dans le grain en cours de maturation (BLUM, 1996). Alors que d'une manière générale, la synthèse des protéines diminue lors du stress, le fait qu'une certaine priorité soit donnée à la synthèse des protéines de stress, dont les LEA protéines, suggère que ces protéines confèrent un avantage métabolique à la cellule (CATTIVELLI *et al*, 2008).

L'ajustement osmotique (AO) maintient l'ouverture stomatique et l'assimilation du CO<sub>2</sub> (KAMELI *et* LOSEL, 1996). Elle retarde la sénescence, et maintient le transfert des assimilats vers le grain, augmentant par conséquent l'indice de récolte (ARAUS *et al*. 1999). L'AO et le rendement en grain, chez les céréales, sont corrélés sous une large gamme de stress (CODON *et al*, 2004). La capacité d'ajustement osmotique élevée améliore le rendement en grain à des niveaux allant de 11% à 17% par rapport au rendement des géotypes présentant une faible capacité d'AO.

Les nitrates, le potassium, les acides organiques, les sucres solubles et la proline sont les composés organiques et minéraux parmi lesquels interviennent dans l'ajustement osmotique (MONNEVEUX, 1991). Les ions inorganiques, comme le potassium, expliquent une grande part de la variation du potentiel osmotique foliaire des plantes non stressées où la quantité de solutés organiques est relativement faible. Sous stress hydrique, ce sont les sucres solubles, et plus particulièrement le glucose, qui contribuent le plus à l'ajustement osmotique (KAMELI *et* LOSEL, 1996). La photosynthèse est vraisemblablement la source principale des solutés organiques qui s'accumulent sous stress hydrique (KAMELI *et* LOSEL, 1996).

**Partie II : MATERIELS**

**ET**

**METHODES**

## 1 - LIEU D'ETUDE

L'étude a été menée dans la serre du laboratoire de Physiologie végétale de la Faculté des Sciences afin de limiter l'apport en eau par précipitation ou par la rosée.

Conditions de culture en serre : la température moyenne minimale durant l'expérimentation est de 16°C et la température moyenne maximale est de 30°C et l'humidité relative moyenne est comprise entre 45 et 60%. Ces mesures ont été réalisées avec un thermohygromètre (Annexe 2).

## 2 - MATERIEL VEGETAL

Deux variétés de riz pluvial provenant du Brésil (FOFIFA 3729 et FOFIFA 3737) mais devenues locales, fournies par le FOFIFA ont été utilisées durant notre expérimentation (Annexe 1). Les semences de ces deux variétés ont été stockées dans la chambre froide (4-8°C) au laboratoire de l'UBAP (Unité Biotechnologie et Amélioration des Plantes) à l'Université d'Antananarivo jusqu'à leur utilisation. Ces variétés ont été choisies car elles sont parmi les plus cultivées en riziculture pluviale et déjà bien vulgarisées auprès des paysans.



**Photo 1: Graines des semences FOFIFA 3729 et FOFIFA 3737**

### 3 - MATERIEL NON BIOLOGIQUE

- Le sol

Comme les deux variétés utilisées sont pluviales, des sols de tanety ferrallitiques ont été utilisés.

- L'eau

De l'eau de robinet a été utilisée lors de notre étude expérimentale.

- Equipement de laboratoire utilisé durant l'expérience

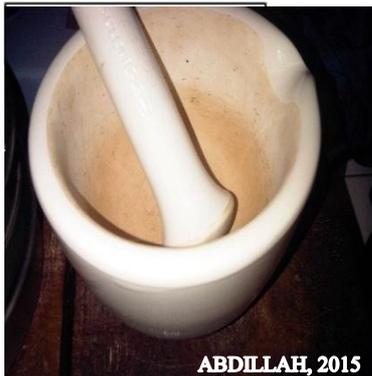


Photo 2 : Mortier et Pilon



Photo 3 : Tamis de maille de 2mm



Photo 4 : Bécher



Photo 5 : Pot contenant de sol



Photo 6 : Papier Whatman



Photo 7 : Boîtes à tare



Photo 8 : Balance électronique



Photo 9 : Etuve

## 4 - PROTOCOLE EXPERIMENTAL

### 4.1. Traitement utilisé

Pour évaluer l'impact du stress hydrique chez les deux variétés de riz, l'apport quantitatif en eau a été varié de 25 ml à 400 ml pour avoir différents traitements (tableau 2). La fréquence d'apport en eau est d'une fois par semaine pendant 4 mois.

**Tableau 2 : Différents traitements utilisés pour évaluer le stress hydrique**

Traitements	Quantité en eau apporté tous les 7 jours (ml).
T1	25
T2	50
T3	100
T4	200
T5	400

### 4.2. Mode de culture

#### 4.2.1. Préparation du pot de culture

Des pots de 10 litres ont été utilisés et ont été remplis d'environ 2/3 en sol qui correspond à 5 kg de sol par pot. Pour la fertilisation, un apport d'équivalent 5 t/ha de fumier a été apporté. Ainsi, 11,2 g de fumiers par pot ont été apportés et mélangés à la surface du sol. La disposition des pots a été placée au hasard.

#### 4.2.2. Semis

Ensuite, deux (2) graines de riz par variété par pot ont été semées le 06 décembre 2015. Deux plants de riz par pot constituent une répétition pour chaque variété. En tout, cinq répétitions ont été réalisées par traitement et par variété.

#### 4.2.3. Arrosage et mode de traitement

L'arrosage a été réalisé une fois par semaine pendant trois semaines avec un traitement de 500 ml d'eau afin d'assurer une quantité suffisante d'eau pour la germination.

A la 4<sup>ème</sup> semaine, l'arrosage a été arrêté pendant une semaine pour commencer le stress. A partir de ce stade, afin de provoquer tellement le stress, la dose de l'arrosage a été régulée de la façon suivante : 25 ml, 50 ml, 100 ml, 200 et 400 ml, par semaine.

#### 4.2.4. Suivi

La croissance des plantes a été suivie dès le semis jusqu'avant la floraison pour ne pas perturber la dissémination des grains de pollens, puis pendant la récolte s'est faite la dernière mesure et la collecte des données.

## 5 - PARAMETRES CONSIDERES

### 5.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol

#### ➤ Analyse de la composition chimique du sol

Un échantillon de sol prélevé dans le champ de culture de riz pluvial de l'Université d'Antananarivo a été analysé au laboratoire de Pédologie de FOFIFA à Tsimbazaza, Antananarivo lors de notre étude.

### 5.2. Analyse hygrométrique du sol

Des analyses hygrométriques ont été effectuées au laboratoire de l'UBAP afin de déterminer l'état hydrique du sol utilisé. La formule suivante a été utilisée en général pour calculer toutes les humidités citées ci-dessous. Elle s'exprime en %.

$$H\% = \frac{Pf - Ps}{Pf} \times 100$$

H: Humidité ; Pf : Poids frais ; Ps : Poids sec.

#### 5.2.1. Capacité de rétention maximale en eau du sol au champ

Il s'agit de la quantité maximale d'eau que peut contenir un sol dans sa porosité, sans que l'eau soit en excès et percole. Elle est notée **Hcc** et exprimée en %.

Dans cette étude, la Hcc a été réalisée au laboratoire de l'UBAP à Ankatso, Université d'Antananarivo, suivant le protocole ci-après.

Le sol a été broyé dans un mortier, filtré dans un tamis de 2 mm de diamètre, mesuré dans un bécher, puis pesé. Le sol, en effet, a été placé sur un papier Whatman puis le tout a été mis dans un pot troué afin que l'eau versée puisse y sortir. Le but de cette manipulation est d'obtenir la quantité d'eau nécessaire permettant ainsi l'humidification totale du sol. Elle est obtenue lorsque la goutte d'eau commence à sortir au niveau du trou du pot. Ensuite, un aliquote de 15 g de sol humidifié a été pesé à l'aide d'une balance électronique, puis séché dans une étuve à 105°C pendant une nuit et repesé après refroidissement.

### 5.2.2. Humidité au point de flétrissement

Il s'agit de la quantité d'eau en dessous de laquelle la plante n'a plus accès à l'eau, car cette dernière est trop liée au sol. Elle est notée **H<sub>pf</sub>** et exprimée en %. En effet, 25 ml d'eau a été mélangé avec 1 000 g, un aliquote d'environ 10 g de sol a été pesé et séché à 105°C pendant une nuit dans une étuve puis repesé après refroidissement.

### 5.2.3. Humidité du sol aux différents traitements utilisés

Les autres traitements (T2 : 50 ml ; T3 : 100 ml ; T4 : 200 ml et T5 : 400 ml) utilisés lors de notre expérience ont été aussi mélangés avec 1 000 g de sol par traitement.

Ensuite, en suivant la procédure sus citée, cette humidité est notée **H<sub>st</sub>** et exprimée en %.

## 5.3. Paramètres considérés pendant la phase végétative

La phase végétative commence de la germination jusqu'à l'initiation florale. Les paramètres faisant l'objet de suivi régulier ont été, la germination, le taux de viabilité, le tallage, la teneur en chlorophylle et la production de la biomasse racinaire.

### 5.3.1. Taux de germination

Deux (2) semaines après semis, le taux de germination a été obtenu et calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{Nombre de graines de riz germées}}{\text{Nombre total de graines de riz semées}} \times 100$$

### 5.3.2. Cinétique de germination

La cinétique de germination est la vitesse que possède une graine pour germer en fonction du temps. Elle a été évaluée par jour pour tous les traitements des deux variétés.

### 5.3.3. Taux de viabilité de la plante

Le taux de viabilité des plantes est le pourcentage de plantes vivantes par rapport au nombre total de plantules issues de la germination. Ce taux a été obtenu 4 mois après semis et elle a été calculée par la formule suivante :

$$\text{Taux de viabilité} = \frac{\text{Nombre de plantes vivantes}}{\text{Nombre de graines germées}} \times 100$$

#### **5.3.4. Nombre total de talles**

Afin d'évaluer le développement de la plante face au stress hydrique, le nombre de talles produits par les plants de riz par traitement a été noté par semaine.

#### **5.3.5. Teneur en chlorophylle**

Afin d'évaluer la relation entre l'état de nutrition azotée du riz avec le stress hydrique du riz, la teneur en chlorophylle a été mesurée avec un chlorophyllemètre SPAD. Cette teneur donne une indication sur la capacité photosynthétique du plant du riz ainsi que sa nutrition azotée. Les mesures ont été réalisées deux fois sur les feuilles sous paniculaires et les feuilles paniculaires pendant la phase végétative.

#### **5.5.6. Production de biomasse racinaire**

En ce qui concerne la production de la biomasse racinaire, comme cette mesure est destructive, elle a été réalisée à la fin de la récolte avec le décompte des nombres de racine fasciculée et la longueur maximale de racine mesurée par cm.

### **5.4. Paramètres considérés pendant la phase reproductive**

Pour la phase reproductive qui présente les talles fertiles et les graines. En effet, le nombre de talles fertiles qui est identique au nombre de panicules a été enregistré. Le nombre total de grains produits par panicule a été noté et le pourcentage de graines pleines a été calculé à la fin de l'expérimentation.

## **6 - ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES**

Les données ont été analysées par l'analyse de variance ou ANOVA en utilisant le logiciel ASSISTAT version 7.7. Les moyennes des cinq répétitions sont comparées avec le test de Tukey, avec une probabilité  $p = 0,05$ .

Le test de Tukey est un test de comparaisons multiples qui peut être utilisé pour déterminer les différences significatives entre les moyennes de groupes dans une analyse de variance.

**Partie III : RESULTATS ET  
INTERPRETATIONS**

Cette partie renferme les résultats des paramètres testés durant l'expérimentation. Ces résultats sont composés de : caractéristiques du sol utilisé, caractères des plantes testées pendant la phase végétative et pendant la phase reproductive.

## 1- CARACTERISTIQUES DU SOL UTILISE

### 1.1. Caractéristiques physico-chimiques

Comme les deux variétés de riz utilisées sont pluviales, des sols de tanety ferrallitiques ont été utilisés pour la culture en serre. Le résultat de l'analyse du sol dans le tableau 3 ci-dessous révèle que sa texture est limono-argilo-sableuse, bonne pour la culture de riz pluvial. Sa composition en macroéléments (N, P, K) est aussi très bonne. Le sol est riche en azote, en phosphore et très riche en potassium. Ces macroéléments, en effet, sont indispensables pour la plante, ils participent à sa croissance, au développement du système racinaire, à sa mise à fleur, à fruit et à graine.

Le pH du sol est moyennement acide, favorable pour l'absorption des différents minéraux nécessaires pour le riz.

**Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé**

pH	Carbone C%	Azote N%	Rapport C/N	Phosphore P (Bray II) ppm	Potassium K (méq/100g)	Granulométrie (%) (Texture)		
						Argile	Limon	Sable
5,35 (moyennement acide)	2,25 (riche)	0,235 (riche)	9,45 très faible	18,5 (riche)	1,18 (très riche)	21	20	59
						Limono-argilo-sableuse		

Ainsi, les caractéristiques physico-chimiques du sol analysées ne constituent pas un facteur limitant pour l'expérimentation.

### 1.2. Capacité de rétention maximale en eau du sol

La capacité au champ ou capacité de rétention en eau du sol est la quantité disponible pour la plante. Le sol a une bonne capacité de rétention de 520 ml d'eau par kilogramme de sol (tableau 4).

**Tableau 4 : Capacité de rétention maximale en eau du sol utilisé**

Sol en g	Quantité d'eau (ml)	Hcc (%)	Témoins (%)
1 000	520	26,0	1,6

Hcc : Humidité à la capacité au champ

### 1.3. Humidité au point de flétrissement

L'humidité au point de flétrissement est de 1,6%, elle correspond à 25 ml d'eau par kilogramme de sol et par semaine (tableau 5). Inférieur à cette valeur, l'eau n'est plus disponible pour la plante.

D'après ces résultats, l'eau disponible pour la plante ou la réserve utile (Ru) est la différence entre la capacité de rétention maximale en eau du sol et l'humidité au point de flétrissement, soit 495 ml d'eau et qui correspond à 24,4% d'humidités. Ces données ont permis de déterminer une fourchette de quantité d'eau nécessaire pour cette expérimentation. La connaissance de cette fourchette est nécessaire afin d'évaluer les effets du stress hydrique sur la culture de deux variétés de riz testées.

**Tableau 5 : Humidité au point de flétrissement (Hpf)**

Sol en g	Quantité d'eau (ml)	Hpf (%)	Témoins (%)
1 000	25	1,6	1,6

Hpf : Humidité au point de flétrissement

### 1.4. Humidité du sol aux différents traitements utilisés

Cette humidité du sol par rapport aux différents traitements détermine le degré du stress hydrique. D'après ces résultats du tableau 6 ci-dessous, les traitements T1, T2 et T3 tendent vers la valeur de Hpf. Et les traitements T4 et T5 tendent vers le Hcc. Cela montre que l'humidité du sol augmente en proportion de l'apport en eau.

**Tableau 6 : Humidité du sol aux différents traitements utilisés (Hst)**

Sol en g	Traitement	Quantité d'eau (ml)	Hst (%)	Hpf (%)	Ru (%)
1 000	T1	25	1,6	1,6	0
1 000	T2	50	3,0	1,6	1,4
1 000	T3	100	5,4	1,6	3,8
1 000	T4	200	8,6	1,6	7,0
1 000	T5	400	11,6	1,6	10,0

Hst : Humidité du sol aux différents traitements ; Ru : Réserve utile pour le riz

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

## 2 - CARACTERISTIQUES DES PLANTES TESTEES

### 2.1. Pendant la phase végétative

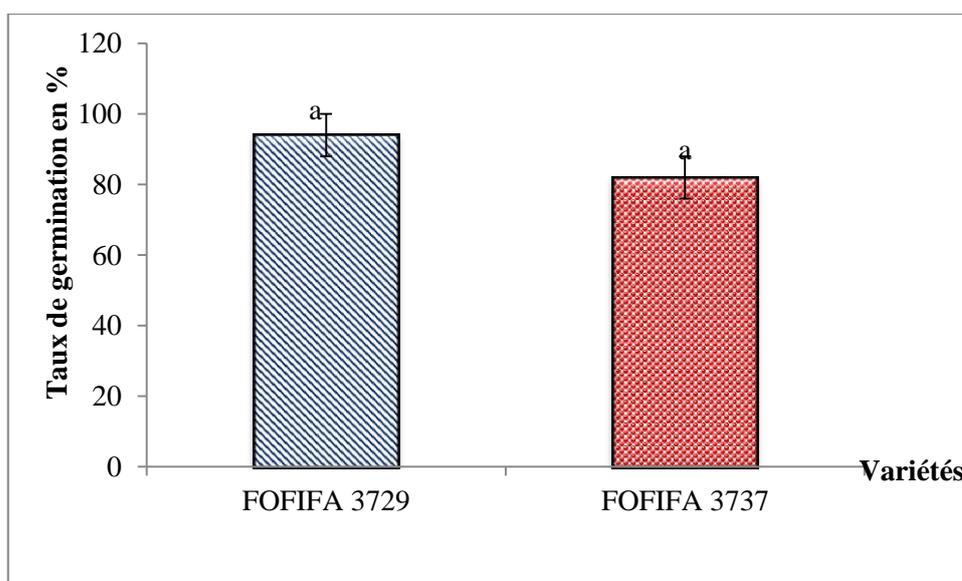
La germination fait partie de la phase végétative du cycle de développement du riz selon laquelle une étude est indispensable. La connaissance de ces deux caractères, la capacité et la cinétique germinative est très intéressante pour choisir la variété de meilleure qualité.

#### 2.1.1. Capacité germinative des graines

Il est nécessaire de rappeler ici que pendant trois semaines les deux variétés n'ont pas été soumises au stress hydrique. Pour avoir une condition optimale pour la germination, elles ont été traitées par le même traitement (T = 500 ml d'eau par semaine) pendant les trois premières semaines de semis.

Le taux de germination a été obtenu 14 jours après semis, ce qui donne la capacité germinative des semences utilisées.

La figure 1 montre que la variété FOFIFA 3729 (F3729) a un taux de germination légèrement supérieure à 94% par rapport à celle de FOFIFA 3737 (F3737) qui a été de 82%. La différence entre ces deux valeurs n'est pas significative à  $p < 5\%$ .



**Figure 1 : Taux de germination des graines de riz des deux variétés F3729 et F3737 14 jours après semis**

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Cela montre qu'un apport de 500 ml d'eau par semaine permet en général la germination des graines des deux variétés testées.

### 2.1.2. Cinétique de germination

La figure 2 ci-dessous montre deux courbes ascendantes présentant la capacité des semences à germer en fonction du temps (jours). En effet, cette figure présente la cinétique de la germination de deux variétés F3729 et F3737. Ces courbes montrent qu'à partir de la 3<sup>ème</sup> jour (J3), les semences ont commencé à germer pour la variété F3729 contrairement à la variété F3737 que ses semences commencent à germer à partir du quatrième jour. Plus de 90% des semences F3729 ont germé au J11, par contre, plus de 80% de F3737 ont germé jusqu' au J14.

En effet, cette figure a permis de déterminer la capacité des semences à germer en fonction du temps. Ce qui permet d'approuver que la variété F3729 commence à germer 1j avant la variété F3737.

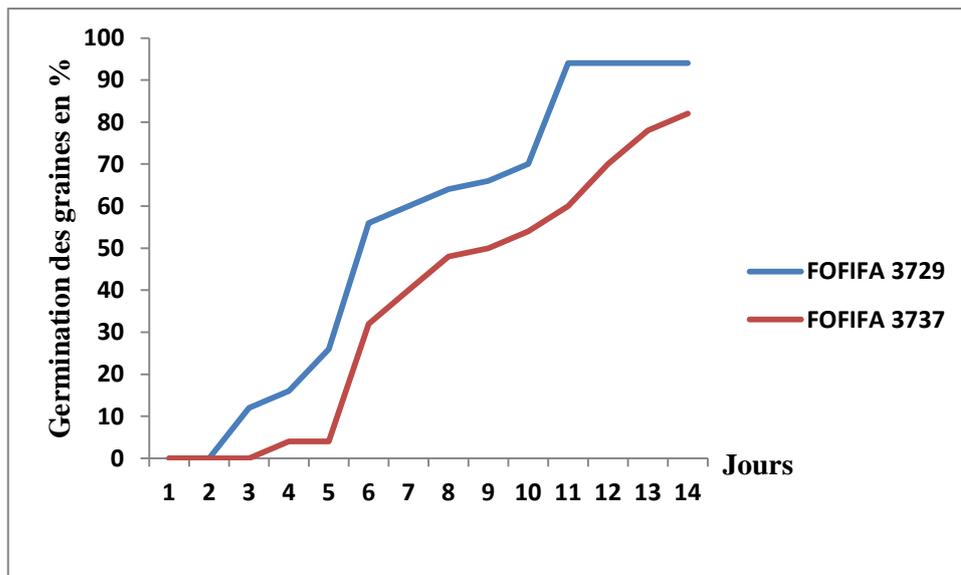


Figure 2 : Cinétique de germination des deux variétés F3729 et F3737

La valeur de la vitesse de germination de la variété F3729 est élevée par rapport à celle de F3737. Donc, ces deux critères étudiés permettent de déduire que la variété F3729 a des semences de meilleure qualité.

### 2.2. Effets du stress hydrique pendant la phase végétative

Cette phase fait partie des phases les plus sensibles du stade de développement de la plante. En effet, les résultats obtenus vont permettre de montrer et de déduire si les variations au niveau des caractères étudiés durant ce travail de recherche sont significatives ou non au seuil de 5%, entre les différents traitements apportés à chacune

des deux variétés testées. Ils vont permettre également de démontrer la réaction des variétés en fonction du traitement.

### 2.2.1. Taux de viabilité des plantes

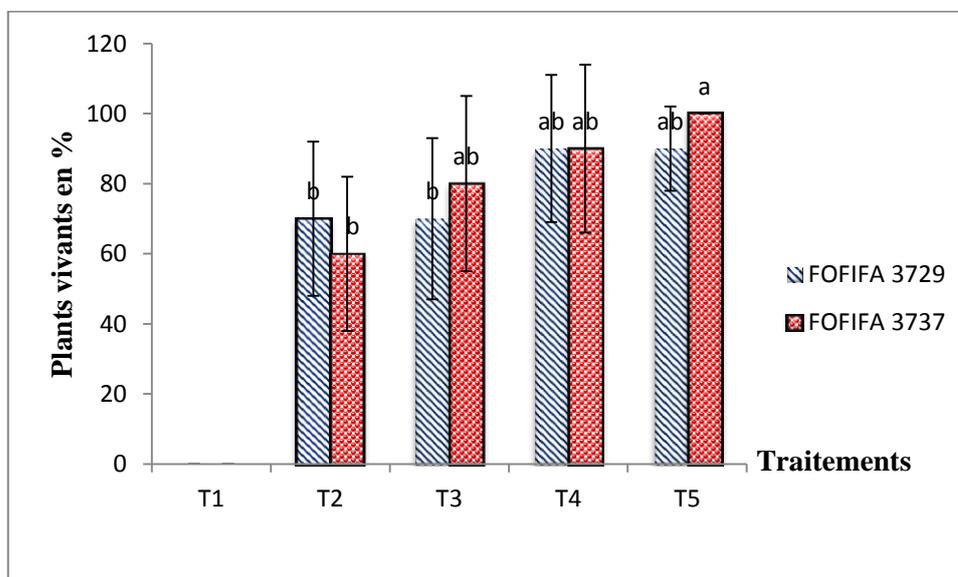
La viabilité signifie le pourcentage des plantes survécues jusqu'à la fin de l'expérience et elle est exprimée en pourcentage (%) dans la figure 3.

Il a été constaté que le premier traitement T1 (25 ml d'eau par semaine) n'a pas permis d'obtenir des plantes viables. Ce constat est valable pour les deux variétés. La quantité d'eau apportée n'est donc pas suffisante. D'ailleurs, l'analyse des caractéristiques du sol a démontré que le traitement T1 est proche du point de flétrissement (1,6%). Il n'y a certainement pas d'eau disponible pour les plantes.

Cette figure montre aussi que :

- la variété F3729 présente un taux de de viabilité de 70% pour les traitements T2 et T3 et 90% pour les traitements T4 et T5 ;
- le taux de viabilité des plantes de la variété F3737 augmente au fur et à mesure que la dose augmente. Il s'agit de 60% ; 80% et 90% pour les traitements respectifs T2, T3, T4 et à T5 la totalité des plantes a survécu.

Les différences sont significatives entre les traitements 2-3 et 4-5 mais non significatives entre les deux variétés.



**Figure 3 : Taux de viabilité des plantes des deux variétés de riz F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

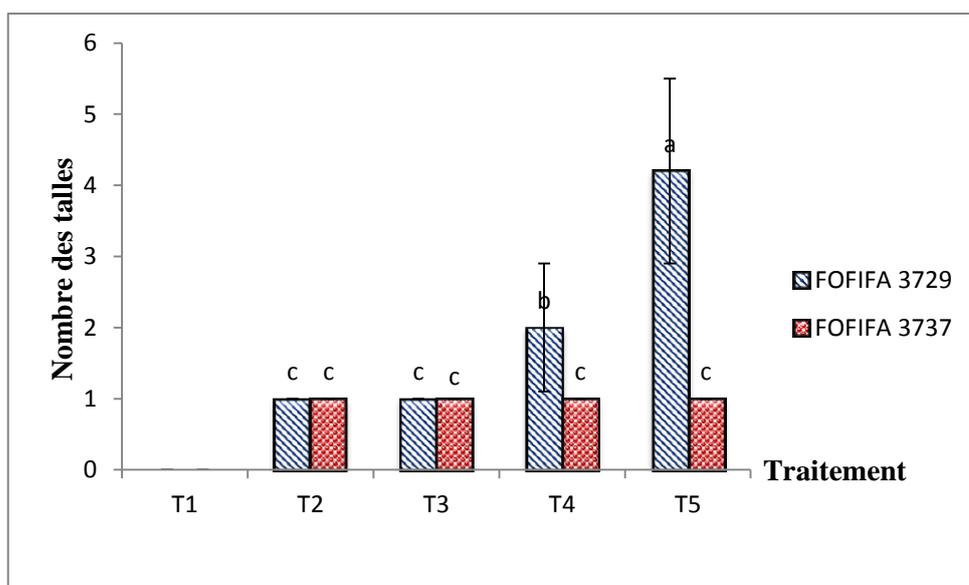
Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Donc, le taux de viabilité est proportionnel à l'apport en eau.

### 2.2.2. Nombre total des talles

Le tallage est un stade majeur pour le cycle de développement des plants car il indique la production ou non des graines à la phase de reproduction. Dans cette expérience, ce stade n'est pas épargné du déficit hydrique. La figure 4 montre que :

- Pour la variété F3729, le nombre de talles dans le traitement T1 est quasiment nul, les traitements T2 et T3 ont donné chacun une talle par plant ce qui signifie qu'il n'y a pas de production de talles, et c'est avec les traitements T4 et T5 que s'observent la production des talles avec une moyenne de 2 talles par plant pour T4 et 4 talles par plant pour T5.
- Pour la variété F3737, le T1 est nul, un pied par plant est observé dans tous les traitements, cela montre que cette variété n'a pas produit des talles au-delà de son pied d'origine constituant un plant.



**Figure 4 : Nombre total des talles par plante par variété et par traitement**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Ainsi, les photos 10 et 11 ci-dessous illustrent la production des talles des deux variétés au traitement T5 (400 ml par semaine), 3 mois après semis.



**Photo 10 : Production de talles au T5 F3729**



**Photo 11 : Production de talles au T5 F3737**

La production des talles pour les deux variétés dépend fortement de la présence d'une quantité suffisante en eau, mais, la variété F3729 a tendance à tolérer ce déficit au T5 (400 ml par semaine).

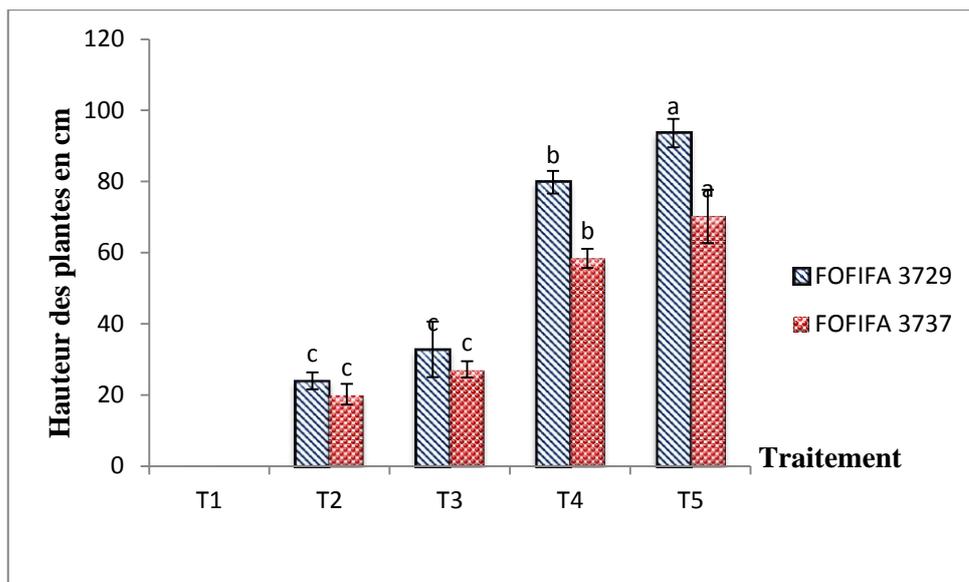
### **2.2.3. Hauteur maximale des plantes**

La figure 5 ci-dessous montre la hauteur maximale des deux variétés en fonction des traitements.

- Pour le traitement T1, elle est quasiment nulle.
- Avec les traitements T2 et T3, elle est faible pour les deux variétés F3729 et F3737 avec des valeurs respectives : 24 cm ; 32,8 cm et 20,2 cm ; 27,2 cm.
- La hauteur devient plus importante avec les traitements T4 et T5 pour les deux variétés F3729 et F3737 avec des valeurs respectives : 79,8 cm ; 93,6 cm et 58,4 cm ; 70,2 cm.

Les valeurs montrent aussi que la différence n'est pas significative au seuil de 5% entre la hauteur des deux variétés sous un même traitement T2 et T3, mais elle est significative entre les traitements T4 et T5, ces derniers sont significatifs aussi par rapport aux T2 et T3.

La hauteur du plant de riz est également proportionnelle à l'apport en eau.



**Figure 5 : Effets du stress hydrique sur la croissance en hauteur des deux variétés de riz**  
T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.  
Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

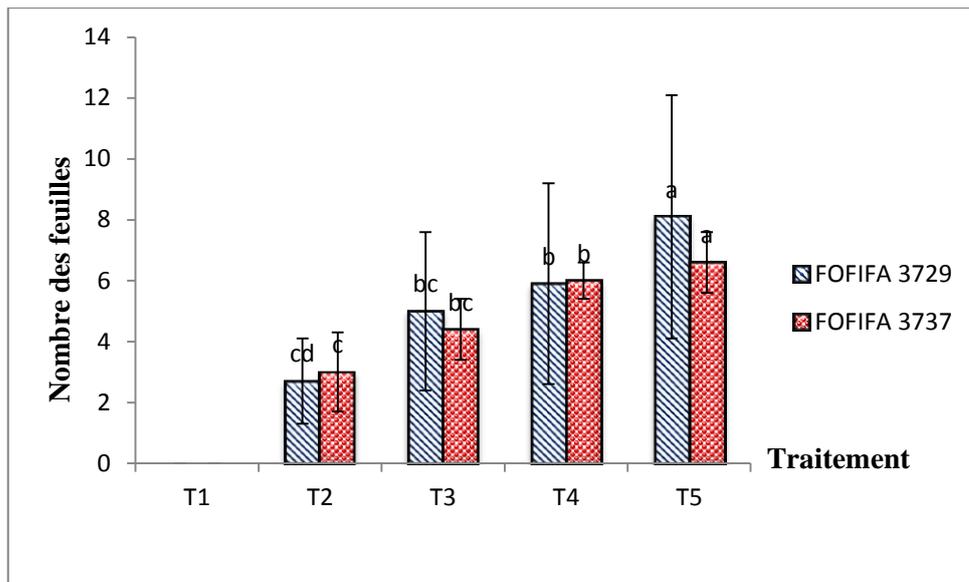
#### 2.2.4. Nombre des feuilles par plante en maturité

Les feuilles jouent un rôle important pour la photosynthèse et cette dernière peut avoir un impact sur la production finale. La figure 6 indique le nombre des feuilles par plante de ces deux variétés testées.

En effet, il a été constaté que le nombre de feuilles par plant est également proportionnel à l'apport en eau (figure 6). En revanche, il n'y a pas de différence significative pour le nombre de feuilles par talle. Ce nombre est en moyenne de 5 feuilles/talle pour les deux variétés.

En effet, en suivant respectivement les différents traitements, le nombre de feuilles produites a été de 2 à 10 feuilles pour la variété F3729 et de 3 à 6 pour F3737.

Cependant, en rapportant sur le nombre total de feuilles par plante et avec un apport de quantité d'eau identique, la variété 3729 est encore plus riche en feuilles. Ainsi, le nombre de feuilles par plant est également proportionnel à l'apport en eau.



**Figure 6 : Nombre des feuilles produites pour les deux variétés F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

### 2.2.5. Teneur en chlorophylle

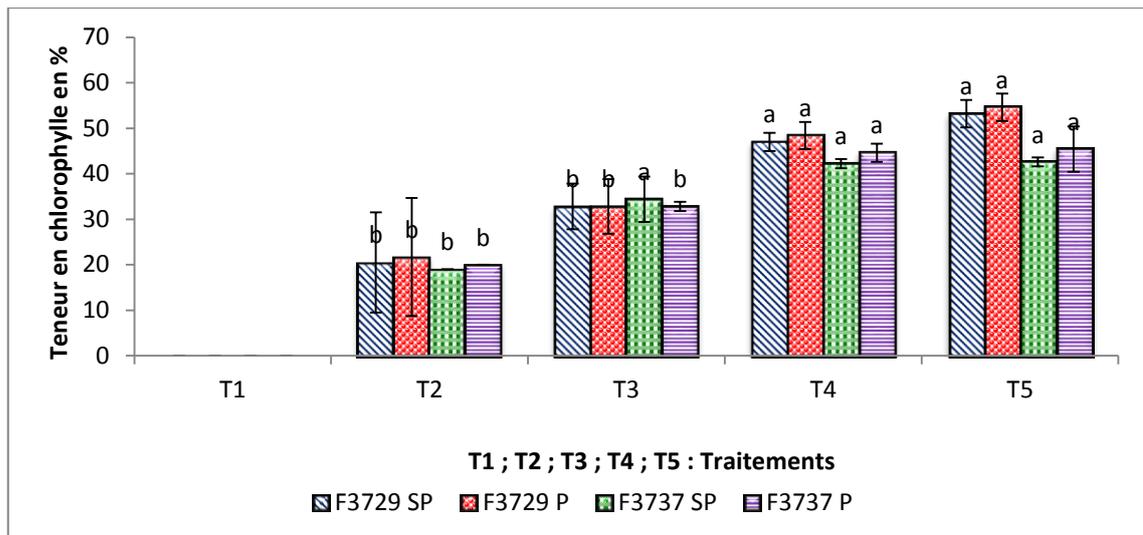
La teneur en chlorophylle a été mesurée sur deux feuilles différentes, la feuille sous paniculaire et la feuille paniculaire. La chlorophylle permet la réalisation de la photosynthèse.

La figure 7 ci-après indique la teneur en chlorophylles sur les deux feuilles (sous paniculaire et paniculaire) en fonction des différents traitements apportés aux deux variétés.

Ces résultats révèlent que l'absorption d'azote, constituant de la chlorophylle est limitée par l'eau disponible même si l'azote est disponible en quantité suffisante d'après l'analyse du sol. La teneur en chlorophylle pour les deux feuilles mesurées est :

- nulle pour T1 avec 0% car il manque la partie aérienne pour les deux variétés ;
- faible pour T2 avec 20,5% pour la variété F3729 et 19% pour la variété F3737 ;
- normale pour T3, T4 et T5 avec les valeurs respectives : 32,8% - 47% - 53,2% pour F3729 et 34,4% - 42,2% - 51% pour F3737.

Le taux de chlorophylles dans les feuilles sous paniculaires et paniculaires est différent d'un traitement à un autre pour les deux variétés. La différence est significative à 5% entre les doses ou traitements mais non significative entre les variétés sous même traitement sauf dans les traitements T3 pour la feuille sous paniculaire.



**Figure 7 : Teneur en chlorophylle des deux feuilles (sous paniculaire et paniculaire) des deux variétés de riz testées F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.  
 Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

La teneur en chlorophylle des feuilles testées des deux variétés est également proportionnelle à l'apport en eau et au génotype de la plante.

### 2.2.6. Effets du stress hydrique sur la biomasse souterraine

La mesure des racines a été réalisée à la fin de l'expérience. En effet, elle a permis de déterminer le nombre des racines fasciculées ainsi que la longueur maximale des racines dans chaque traitement pour les deux variétés.

#### 2.2.6.1. Nombre de racines fasciculées

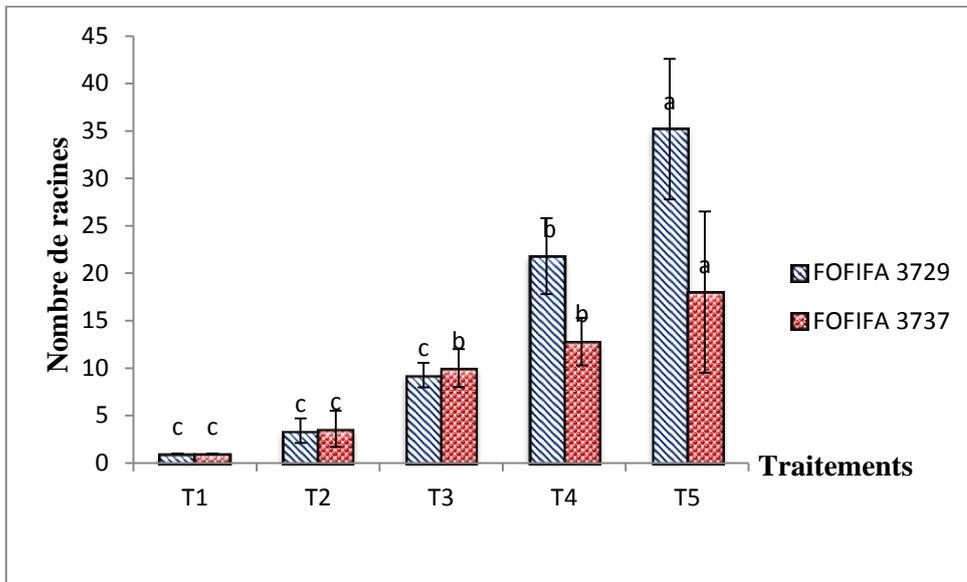
La racine du riz a un système fasciculé. Ces racines ont été dénombrées après la récolte des graines. Le traitement T1 a laissé des biomasses racinaires souterraines même si la plante n'a pas survécu. Ce fait a été constaté pour les deux variétés.

Les résultats révèlent une croissance importante en nombre de racines pour la variété F3729 allant de 1 à 35 racines, et de 1 à 18 racines pour F3737. La figure 8 ci-dessous indique aussi le nombre des racines fasciculées par rapport aux différents traitements des deux variétés. En effet, ce nombre a été faible aux traitements T1, T2 et T3, puis il a augmenté aux traitements T4 et T5.

Pour la variété 3729, la différence de nombre de racines est significative à 5% entre les différents traitements T4 (22) et T5 (35), mais non significatives entre T1, T2 et T3.

Pour la variété 3737, la différence est significative à 5% entre les traitements T4 (13) et T5 (18), puis entre T1 - T2 (1 - 3,6) et T3 (10), mais elle est non significative entre T3 et T4.

Le nombre de racines est également proportionnel à l'apport en eau.



**Figure 8 : Nombre de racines fasciculées des deux variétés F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Donc la biomasse racinaire pour le traitement T1 est inversement proportionnelle par rapport à la partie aérienne.

### 2.2.6.2. Longueur maximale des racines

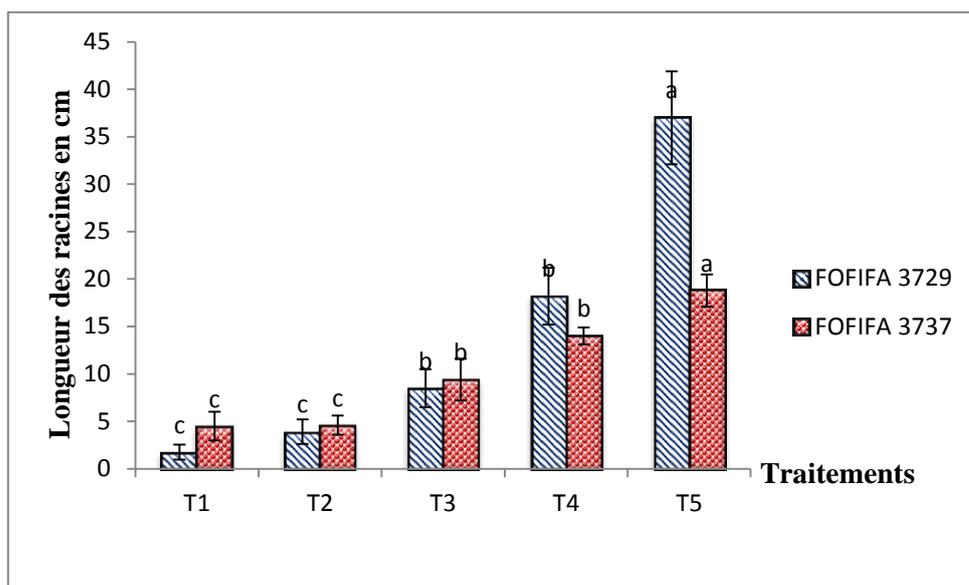
La longueur moyenne de la racine varie selon le traitement et la variété (figure 9). Les deux variétés répondent différemment aux stress hydriques.

Cette figure indique la longueur maximale des racines par rapport aux différents traitements des deux variétés.

Cette longueur varie en proportion avec les différents traitements :

- Pour la variété F3729, elle varie entre 1 à 41 cm en suivant respectivement les traitements, la différence est significative à 5% entre les traitements T3 (8,5 cm), T4 (18,2 cm) et T5 (37 cm), mais elle est non significative entre T1 et T2.

- pour la variété F3737, elle varie entre 4 à 17 cm en suivant respectivement les traitements, la différence est significative à 5% entre les traitements T4 (14 cm) et T5 (18,8 cm), mais non significative entre T1 et T2, cas identique pour T3 et T4.



**Figure 9 : Longueur maximale des racines des deux variétés F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Comme les autres paramètres cités ci-dessus, la longueur des racines des deux variétés est aussi très affectée par le stress. Toutefois, la variété F3729 est plus tolérante au stress que celle de F3737.

### 2.3. Effets du stress hydrique pendant la phase reproductive

La phase reproductive est aussi très affectée et très sensible au stress hydrique.

#### 2.3.1. Nombre des talles fertiles

Toutes les talles n'ont pas été fertiles sauf seulement celles des traitements T4 (200 ml) et T5 (400 ml) qui ont portés des panicules, c'est-à-dire que certaine talle ne porte pas de panicules, donc pas de graines. Le nombre de talles fertiles conditionne la production des graines.

La figure 10 ci-dessous présente le nombre de talles fertiles des deux variétés F3729 et F3737.

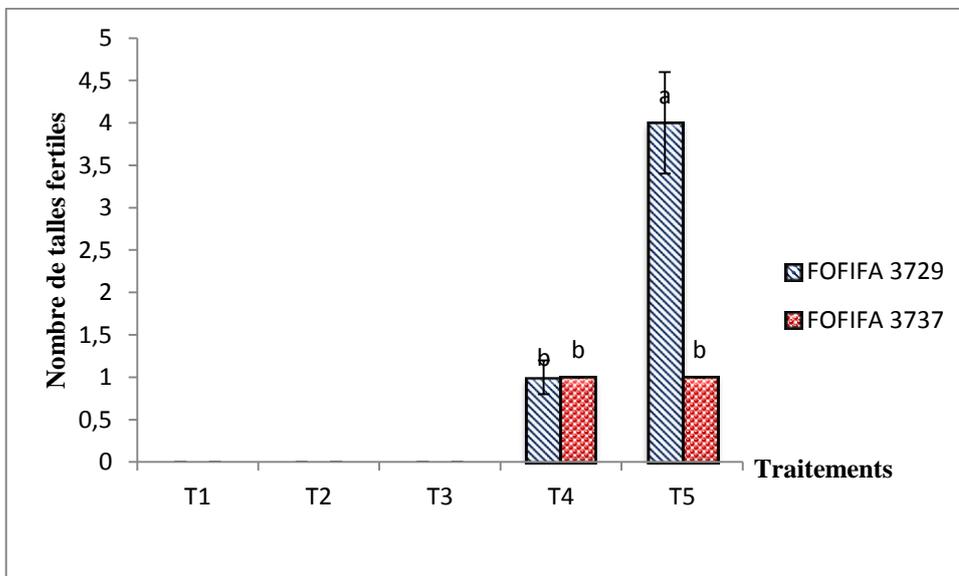
Pour la variété F3729 :

- Pas de plante viable pour le traitement T1.
- Les plantes aux T2 et T3 sont viables mais avec un faible taux de tallage. De plus, ces deux traitements ne donnent pas des talles fertiles.

- T4 : il y a eu possibilité de production de talles. Toutefois, le nombre de talles fertiles est encore très faible d'ordre de 1,
- T5 : Tallage plus important par rapport aux autres traitements. Les talles fertiles sont aussi plus nombreuses environ 4

Pour la variété F3737 :

- Pas de plante viable pour le traitement T1.
- Au T2 et T3, les plantes sont viables mais avec un faible taux de tallage. De plus, ces deux traitements ne donnent pas encore des talles fertiles.
- Les traitements T4 et T5 ne produisent pas de talles mais le plant existant se transforme à en talles fertiles de l'ordre de 1.



**Figure 10 : Nombre de talles fertiles des deux variétés F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

D'après les résultats ci-dessus, la production de la biomasse aérienne (feuilles et talles) est aussi dépendante de la partie souterraine.

### 2.3.2. Production des graines

Cette production marque l'étape finale de l'élaboration du rendement du riz. Elle a permis de dénombrer les graines pleines et les graines vides pour les différents traitements apportés sur les deux variétés testées.

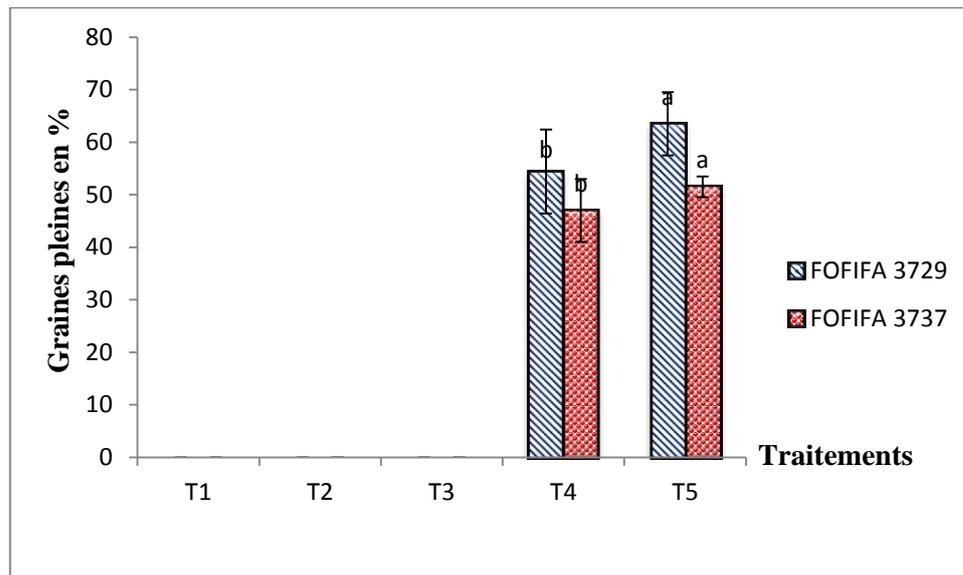
Dû au stress hydrique imposé, toutes les graines ne sont pas pleines.

### ☞ Pourcentage des graines pleines

La figure 11 ci-dessous indique la production des graines pleines. Pour les deux variétés :

- Elle est quasiment nulle pour les traitements T1, T2, T3.
- Et elle est significativement élevée pour les traitements T4 et T5 des deux variétés F3729 et F3737 avec des valeurs respectives : 54,4% - 47% et 63,5% - 51,5%.

Et les traitements T4 et T5 montrent qu'il y a une différence significative à 5%.



**Figure 11 : Pourcentage des graines pleines des deux variétés F3729 et F3737**

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Donc, la bonne capacité photosynthétique, la surface foliaire et le nombre de feuilles contribuent dans l'amélioration du rendement en riz.

### 3 – SYNTHÈSE DES RESULTATS OBTENUS

Les résultats obtenus ont été synthétisés dans les tableaux ci-dessous.

**Tableau 3 : caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé**

pH	Carbone C%	Azote N%	Rapport C/N	Phosphore P (Bray II) ppm	Potassium K (méq/100g)	Granulométrie (%) (Texture)		
						Argile	Limon	Sable
5,35 (moyenne ment acide)	2,25 (riche)	0,235 <b>(riche)</b>	9,45 très faible	18,5 <b>(riche)</b>	1,18 <b>(très riche)</b>	21	20	59
						Limono-argilo-sableuse		

**Tableau 6 : Humidité du sol aux différents traitements utilisés (Hst)**

Sol en g	Traitements	Quantité d'eau (ml)	Hst (%)	Ru (%)
1 000 g	T0	0	1,6	0
1 000 g	T1	25	<b>1,6</b>	0
1 000 g	T2	50	3,0	1,4
1 000 g	T3	100	5,4	3,8
1 000 g	T4	200	8,6	7,0
1 000 g	T5	400	11,6	10,0
1 000 g	T6	520	<b>26,0</b>	<b>24,4</b>

T1 = T0: Humidité au point de flétrissement (Hpf) ; T6 : Humidité à la capacité au champ (HCC) ; Ru : Réserve utile pour le riz

**Tableau 7 : Résultats des paramètres des deux variétés testées**

Paramètres/t raitement	T1 : 25 ml d'eau		T2 : 50 ml d'eau		T3 : 100 ml d'eau		T4 : 20 ml d'eau		T5 : 400 D'eau	
	F3729	F3737	F3729	F3737	F3729	F3737	F3729	F3737	F3729	F3737
Viabilité (%)	0	0	70b	60b	70b	80ab	90ab	90ab	90ab	100a
Nombre total de talles	0	0	1c	1c	1c	1c	2b	1c	4a	1c
Hauteur maximale des plantes (cm)	0	0	24c	20,2c	32,8c	27,2c	79,8b	58,4b	93,6a	70,2a
Nombre de feuilles produites par plante	0	0	2,7cd	3c	4bc	4,5bc	5,9b	6b	10a	7a
Teneur en chlorophylle (%) feuilles sous paniculaires	0	0	20,5	19	32,8	34,4	47	42,2	53,2	42,6
Teneur en chlorophylle (%) Feuille paniculaires	0	0	21,7b	20b	32,8b	32,8b	48,4a	44,6a	54,6	50,1a
Nombre de racines fasciculées	1	1	2	3	7	10	21	12	35	18
Longueur maximale des racines (cm)	1,7c	2,2c	3,2c	3,7c	8,5b	9,4b	13b	12,1b	41a	17a
Nombre de talles fertiles	0	0	0	0	0	0	1b	1b	4a	1b
Pourcentage des graines	0	0	0	0	0	0	54,4b	47b	63,5a	51,5a

T1 : Traitement 1 avec 25 ml d'eau ; T2 : Traitement 2 avec 50 ml d'eau ; T3 : Traitement 3 avec 100 ml d'eau ; T4 : Traitement 4 avec 200 ml d'eau et T5 : Traitement 5 avec 400 ml d'eau.

Les traitements portant les mêmes lettres indiquent que les différences ne sont pas significatives au seuil de 5%.

## **Partie IV : DISCUSSION**

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une évaluation du stress hydrique sur les plantes cultivées. La culture de riz pluvial commence à avoir son essor car les bas-fonds et les surfaces irrigables sont saturés. Mais, du fait de l'irrégularité des pluies et de la faible réserve en eau dans les sols, les rendements sont, médiocres et très variables car le riz n'est guère tolérant à la sécheresse (BOIS *et al*, 1983). Ainsi, quelques points méritent d'être discutés dont l'effet du stress hydrique et le sol, le stress hydrique et la phase végétative et finalement le stress hydrique et la phase reproductive.

## **1 - LE STRESS HYDRIQUE ET LE SOL**

Selon l'analyse de la composition chimique du sol effectuée au laboratoire du FOFIFA à Tsimbazaza, Antananarivo, le sol utilisé pour cette expérience est adéquat pour assurer le besoin en éléments minéraux de la plante, sa croissance et son développement. Le sol joue un rôle important car il maintient la réserve hydrique nécessaire pour la croissance et le développement de la plante. Ainsi, un sol ayant une bonne caractéristique physico-chimique (bonne texture et riche en macroéléments) aide énormément pour une bonne croissance et un bon développement du riz pluvial.

Les contraintes liées à l'incidence généralisée des sols difficiles avec de mauvaises propriétés physiques et chimiques peuvent réduire fortement les rendements moyens. Ces derniers ne représentent que 2,3 t/ha dans les plaines et 1 t/ha dans les Hautes Terres Malagasy (IRRI, AFRICA-RICE, CIAT, 2013).

Presque tous les sols de riz pluvial ont une faible teneur en azote, un apport de 11,2g de fumiers a été amendé au sol utilisé durant cette étude. Les engrais azotés favorisent une croissance vigoureuse des plants de riz ainsi que la production de feuilles vertes et d'un grand nombre de talles et de panicules. L'application d'azote s'est révélée très importante pour améliorer les rendements du riz (FAO, 1997). Dans notre expérience, l'azote a été disponible en quantité suffisante dans le sol.

L'eau du sol pourrait être influencée par la température et l'énergie lumineuse, ainsi l'évapotranspiration pourrait être plus importante en serre que sur le champ.

Cependant, c'est le sol qui détermine le niveau du stress hydrique, cette hypothèse est affirmée par BRIGGO et SANTZ (1912). Selon eux, la valeur au point de flétrissement et la capacité de rétention du sol en eau dépendent beaucoup plus du type de sol plus précisément la texture que des végétaux.

Dans le cas pratique des cultures aux champs, il est ainsi proposé d'utiliser des techniques agro-écologiques afin de limiter l'évaporation, et de retenir le plus d'eau dans le sol. Il est également suggérer d'apporter des matières organiques, qui à part son rôle fertilisant, contribuent également à la rétention de l'eau au niveau racinaire.

Une réorganisation du calendrier cultural en fonction de la pluie pourrait également apporter sa contribution.

Il a été constaté que les réponses des deux variétés diffèrent. Une réaction rapide avec le peu d'eau disponible pourrait être intéressante dans le cas où la période de pluie est raccourcie. Une telle variété, surtout celle à cycle plus court pourrait être parmi les critères intéressants pour affronter le changement climatique.

## **2 - LE STRESS HYDRIQUE ET LA PHASE VEGETATIVE**

La transpiration est le moteur principal du mouvement de l'eau chez les plantes. L'expérience montre que la quantité minimale d'eau où la plante ne peut pas survivre correspond au traitement T1. La quantité d'eau apportée (25 ml par semaine) est proche du point de flétrissement avec une humidité du sol de 1,6%.

Après, il a été observé une fourchette de quantité où il y a une possibilité de développement de la phase végétative sans que la plante peut assurer sa génération future car il n'y pas de production de graines. C'est le cas pour les traitements T2 (50 ml) et T3 (100 ml). En effet, le tallage, les biomasses aérienne et racinaire ont été influencées par le manque d'eau. Dans ce cas, l'eau constitue un facteur limitant pour l'élaboration de rendement. Les résultats concordent avec ceux de DURAND (2007) qui constate que « l'expansion des organes aériens diminue immédiatement et fortement quand débute la sécheresse. Il existe cependant des variations interspécifiques, la variété F3729 est capable de développer dans la profondeur ses racines pour puiser à la profondeur l'eau de la nappe comparée à la variété F3737 qui ne présente que de courte racine et peu de ramifications. Les variétés qui s'adaptent au stress hydrique présentent une longueur et ramification racinaires élevées.

Les résultats obtenus pour la hauteur maximale des plants des deux variétés donnent 93,6 cm pour la variété F3729 et 70,2 cm pour celle de F3737 au traitement T5. Cette hauteur, en effet, a été réduite par rapport à la hauteur maximale indiquée dans la fiche technique (FOFIFA, 1989) qui selon cette fiche la hauteur minimale des deux variétés est de 120 cm.

Cette réduction est due à l'insuffisance hydrique et les variétés ont réduit leurs tailles en réponse de ce stress (CHARLES, 1983).

Les résultats obtenus sur le nombre des racines fasciculées et la longueur maximale affirment que la variété F3729 est plus tolérante au stress hydrique par rapport à celle de F3737 sur les différents traitements. Cela laisse croire que la variété F3729 a la capacité de puiser et de retenir l'eau en profondeur ce qui lui a permis de mieux effectuer ses activités physiologiques par rapport à celle de F3737. Les résultats obtenus dans ce travail confirment ceux obtenus par N'DA (1984), une variété ayant un système racinaire bien développé qui peut permettre une meilleure photosynthèse en évitant la fermeture stomatique et un meilleur transfert des photosynthétats sont des voies de recherche possible pour une bonne adaptation du riz en milieu sec.

Les résultats de la teneur en chlorophylle montrent que les plantes contiennent assez de chlorophylle malgré le stress hydrique. Il a été constaté que même sous l'influence du stress hydrique, les feuilles des plantes restent encore vertes. De ce fait, la photosynthèse semble être indépendante du régime hydrique du plant de riz. Ces résultats sont conformes avec l'observation de BOIS *et al* (1983) mentionnant que la transpiration et la photosynthèse semblent être indépendants du potentiel hydrique jusqu'à un certain seuil.

### **3 - LE STRESS HYDRIQUE ET LA PHASE REPRODUCTIVE**

Le début de la production de graines n'est possible qu'à partir du traitement T4. Ainsi, il faut un certain seuil d'apport hydrique pour la production de rendement du riz. Pour notre cas, ce seuil est de 200 ml d'eau par semaine, ce qui correspond à 8,6% d'humidités du sol. Le riz est une plante qui a un besoin en eau important pour bien finaliser son stade de reproduction.

La variété F3729 a produit plus de talles fertiles (4) au traitement T5 que la variété F3737 (1).

Il est important de souligner qu'il est probable que les variétés qui produisent plus de talles fertiles pourraient avoir un taux de production des panicules important, un taux de production des graines élevé et un rendement élevé par la suite, résultat identique à celui de NGUETTA *et al* (2006).

De plus, les résultats obtenus sur la production des graines pleines nous montrent une différence significative au seuil de 5% entre T4 et T5 pour les deux variétés. En effet, la variété F3729 a produit plus des grains que celle de F3737.

Ce qui a été constaté, est que les deux variétés ont baissé leur niveau de production. Nous n'avons pas pu malheureusement évaluer le poids de 1000 graines qui pourrait fournir une information précieuse sur la productivité. D'autres données comme la teneur en protéine des graines pourraient être intéressantes pour la mise en évidence des protéines de stress synthétisées également pour la qualité de la récolte.

En ce qui concerne le cycle des deux variétés, la récolte a été réalisée après 130 jours du semis. Par rapport à la fiche technique des deux variétés, ce cycle a été rallongé de dix jours pour F3729 (Cycle moyen : 115 – 120 jours) et de quinze jours pour F3737 (Cycle moyen 105 et 115 j). Le stress hydrique a également rallongé sensiblement le cycle des deux variétés étudiées.

L'environnement du riz pluvial subit des multiples tensions abiotiques et une forte incertitude quant au moment, à la durée et à l'intensité des précipitations. Dans le monde, quelques 27 millions d'hectares de riz pluvial sont fréquemment touchés par la sécheresse. Les zones les plus importantes, les plus fréquemment et les plus touchées étant l'Inde orientale (environ 20 millions d'ha) et le nord-est de la Thaïlande et la République démocratique populaire de Laos (7 millions d'ha). La sécheresse est également répandue en Afrique centrale et de l'Ouest (IRRI, AfricaRice, CIAT, 2013). A Madagascar pour l'année de culture 2016-2017, la pluie a été retardée et les récoltes sont mauvaises. L'utilisation des variétés plus tolérantes pourrait être une solution efficace pour réduire les impacts de l'insuffisance d'eau.

**Partie V: CONCLUSION  
ET PERSPECTIVES**

Ce travail a été réalisé afin de connaître les effets du stress hydrique sur la croissance et le développement du riz pluvial. Deux variétés ont été choisies dans cette étude le FOFIFA 3729 et le FOFIFA 3737, d'où l'objectif principal a été atteint.

Sur la phase végétative, l'insuffisance de l'apport en eau a des impacts sur le taux de viabilité puis sur le tallage enfin sur la hauteur du plant de riz ainsi que sur la diminution de la biomasse racinaire des deux variétés. Les différences sont significatives au seuil de 5% entre les différents traitements pour le nombre des racines fasciculées, ainsi que la longueur maximale des racines des deux variétés. Toutefois, la teneur en chlorophylle et par conséquent la photosynthèse semblent être indépendantes du régime hydrique.

Sur la phase de reproduction, la fertilité est particulièrement dépendante de l'apport en eau. À ce stade, en effet, seuls les traitements T4 (200 ml d'eau par semaine avec une valeur de 8,6% d'humidité du sol qui présente approximativement le un tiers de la valeur de Hcc, 26,0%) et T5 (400 ml d'eau par semaine avec une valeur de 11,6% d'humidité du sol qui se rapproche de la moitié de Hcc), ont permis d'obtenir des talles fertiles pour les deux variétés semées, F3729 et F3737 avec des valeurs respectivement, 1 ; 1 et 1 ; (2-4). De plus, le pourcentage de graines pleines est de nouveau proportionnel à l'apport hydrique et la différence est significative au seuil de 5% entre T4 et T5 pour les deux variétés sur les graines pleines avec des valeurs respectives, 54,4% ; 47% et 63,5% ; 51,5%, ce qui nous permet de dire que la variété F3729 a produit plus des grains que celle de F3737. Ainsi, dans le cas pratique, nous ne pouvons pas espérer une production de rendement dans des conditions où la précipitation est inférieure à la quantité équivalente au traitement T4 (200 ml d'eau par semaine).

Cette expérience confirme de nouveau que les effets du stress hydrique touche à la fois les deux phases du cycle de développement du riz. Toutefois, la variété FOFIFA 3729 répond mieux au déficit hydrique par rapport à la variété FOFIFA 3737. Une fois l'apport en eau devient plus important, la variété FOFIFA 3729 donnera plus de biomasse et de rendement.

Par ailleurs ce travail de recherche a permis de se familiariser à l'initiation de la recherche approfondie pour l'avenir, de se renseigner aux différentes phases de culture de riz pluvial, d'acquies et de consolider les connaissances physiologiques acquises en classe. Il a permis également de savoir les contraintes que subit le riz pluvial.

En somme, cette étude a apporté sa contribution sur la connaissance des effets stress hydrique sur la phase végétative et la phase de reproduction, et de comparer les deux

variétés F3729 et F3737 envers le stress hydrique (même si ce n'est pas notre objectif principal). Cette étude est intéressante car elle est en relation avec la situation actuelle : l'insuffisance et l'imprévisibilité de la pluie, la sécheresse et la production rizicole. Cette étude pourrait être élargie sur plusieurs variétés de riz afin de déterminer leur tolérance à l'insuffisance d'eau.

Toutefois, cette étude n'est pas exhaustive. Elle nécessite d'effectuer des études complémentaires pour l'améliorer davantage. Pour cela, à l'avenir, il serait mieux de mesurer l'évapotranspiration qui pourrait donner plus d'information sur l'adaptation du riz contre le stress hydrique. Ainsi, pour la sélection, de déterminer les mécanismes physiologiques impliqués dans la tolérance en eau, de déterminer aussi avec précision les compositions chimiques et organiques responsables à la tolérance de riz au stress hydrique et faire des études moléculaires pour identifier les variétés résistantes au stress hydrique.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

- AHMADI, N., RABOIN, L.M., RAMANANTSOANIRINA, A., DZIDO J.L., FROUIN, J., RADANIELINA, T., THARREAUD et DUSSERRE, J, 2013. Création variétale pour la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. *Cah Agric* 22 : 1-9.
- AHMADI, N., RABOIN, L.M., RAMANANTSOANIRINA, A., DZIDO, J.L., FROUIN, J., RADANIELINAT., THARREAU D et DUSSERRE, J, 2013. *Les variétés de riz pluvial et les efforts de sélection sur les Hautes Terres malgaches*. Antsirabe. 16 p.
- ANGLADETTE, A, 1966. Le riz. *Maisonneuve et Larose*. Paris, France. 930 p.
- ARAUS, J.L., AMARO T., CASADESUS J., ASBATI A and NACHIT M.M, 1999. Relationships between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 25: 835-842.
- BEGG et TURNER, N.C, 1976. Crop water deficit. *Adv. Agron*, 28: 1611-217.
- BENSEMANE, L., BOUZERZOUR H., BENMAHAMME, D and MIMOUNI, H, 2011. Assessment of the phenotypic variation within two- and six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines grown under semi-arid conditions. *Advanced environmental Biology*, 5 : 1454-1460.
- BOIS, J.F., COUCHAT, P. et MOUTONNET, P, 1984. Etude de la réponse à un stress hydrique de quelques variétés de riz pluvial et de riz irrigué. *Plant and Soil* 80. 237- 246.
- BLUM, A, 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20:135-148.
- BOYER, J.S and PHERSON, H.G, 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. *Adv. Agron*, 27: 1-23.
- BRIGGO et SCHANTZ, 1912. Abrégé de physiologie végétale *In HELLER R.* Nutrition Ed. Masson, 24 p.
- BRIGITTE, C, 2007. *Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique*. Cirad, France, 13p.
- CATTIVELI, L., RIZZA, F., BADECKF, W., MAZZUCOTELLI, E., MASTRANGELO, A.M., FRANZIA, E., MARE, C., TONDELLI, A and STANCA, M, 2008. Transcriptome analysis of cold acclimation in barley Albina and Xantha mutants. *Plant physiology*, 141: 257-270.
- CHARLES, R, 1983. *Adaptation du riz pluvial au déficit hydrique dans tropiculture*, 1, (4), 128-132.

- CODON, A.G., RICHARDS, R.A., REBETZKE, G.J and FARQUHAR, G.D, 2004. Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Botany*, 55: 2447-2460.
- COME, D, 1970. Les obstacles à la germination. *Masson et Cie*. 162p.
- DAF, 2009. *Le riz pluvial dans la Région Afrique*, actes de l'atelier national sur la recherche et le développement du riz pluvial à Madagascar, FOFIFA, CIRAD et l'Université d'Antananarivo, 144 p.
- DANCETTE, C, 1974. Stade de sensibilité à la sécheresse et influence des stress hydriques sur deux variétés très différentes utilisées en riziculture pluviale. *Rapport IRAT/ISRA, CNRA de Bambey*, 17 p.
- DAUDET, F.A, 1970. Méthodes et techniques d'étude de l'état de liaison et de la teneur en eau dans le sol et la plante. *In Techniques d'études des facteurs physiques de la biosphère*. INRA : 283-311.
- DURAND, J.L, 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrage* 190. 181-195.
- IRRI, AFRIC-ARICE, CIAT, 2013. Rice Almanac 4th Edition.296 p.
- KABORE, S.P, 2011. La riziculture pluviale stricte, une contribution à l'accroissement de la production du riz au Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude.
- KAMELI, A et LOSEL, D.M, 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.* 132: 57-62.
- KJELDAHL, J, 1883. "A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds", *Z. Anal. Chem.* 22, 366.
- LEVITT, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses.I-Chilling, freezing and high temperature. *Academic Press. New York, USA*, p607.
- MATSUSHIMA, S., 1968. Water and physiology of *Indic* rice. Proc. Sci. Soc. Japan (special issue). *Rice cultivation in South East Asia*, p.102-109.
- MAYER, J et BONNEFOND, R, 1973. Les rizicultures paysannes : améliorations possibles. *Secrétariat d'Etat aux affaires étrangères*, Paris, France, 216 p.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, 2007. Recensement de l'agriculture. Campagne agricole 2004-2005. *Parcelles et superficies de culture*. Vol. III.
- MONNEVEUX, P, 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales. *Dans Amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux aride*. AUPELF-UREF. *John Libbey Euro text*. 165-186.

- N'DA, K.A, 1984. *Réponse physiologique du riz (Oriza sativa L.) au déficit hydrique, étude comparée de deux types culturaux* ; thèse doctorale. Ecole Nationale Agronomique de Montpellier. 139 p.
- NGUETTA, A.S., LIDAH, J.Y., EBELEBE C.N et GUEI, R.G, 2006. Sélection de variétés performantes de riz pluvial (*Oryza sp.*) dans la région subéquatoriale du Congo Brazzaville dans *Afrique SCIENCE*.02(3). 352 – 364.
- PASSIOURA, J, 2004. Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. *In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia*. 12 p.
- RICHARDS, R.A., REBETZKE, A.F., VAN HERWAARDLEN, B.L., DUGGANB, A.G and CONDON. 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, 36 : 254-266.
- RIQUIER, J, 1966. Définition et classification des sols ferrallitiques de Madagascar. Cahier OROSTOM. *Série Pédologie* 4(4) : 75-88
- SECOND, G, 1985. *Relations évolutives chez le genre Oryza et processus de domestication des riz*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Orsay. 189 p.
- TARDIEU, F, 1996. Drought perception by plants. Do cells of droughted plants experience water stress? *Plantgrowthregulation*, 20 : 93-104.
- THOMAS, A, 2013. Etude du risque climatique en riz pluvial et de ses interactions avec les systèmes de culture dans la région du Lac Alaotra. *HALL*. Antananarivo. 30 p.

## Webographie

http1 : <http://www.orange.mg/actualite/madagascar>.

http2 : <http://www.filieretechniqueagricol.mg>.

http3 : <http://www.rechauffement-climatique.fr>.

http4 : <http://www.fao.org/docrep/003/.htm>.

# **ANNEXES**

# **ANNEXE 1 : CARACTERISTIQUES DES DEUX VARIETES DE RIZ (FOFIFA, 1989)**

## **1.1 : Caractéristiques de la variété MAROTIA**

### **NUMERO DE COLLECTION : 3729**

- Nom : MAROTIA
- Synonyme : CNA4136
- Origine : Brésil
- Cycle végétatif total : 115-120 jours
- Aptitude culturale : Pluviale
- Zone de culture : Région du Moyen Ouest

### **Caractéristiques variétales**

- Hauteur de la plante : 120- 130 cm
- Port de la plante : Semi-dressé
- Port de la feuille paniculaire : semi-érigé
- Type de grain : Demi-long

### **Paddy**

- Aristation : Mutique
- Longueur : 9,6 mm
- Teinte : jaune paille
- Poids de 1000 grains : 33,1 g

### **Caryopse**

- Longueur : 7,2 mm
- Translucidité : Translucide

### **Caractéristique agronomiques**

- Verse : sensible
- Rusticité : Très bonne
- Tolérance à la pyriculariose : Bonne
- Réponse aux engrais : Très bonne

### **Rendements en essais**

- Rendement moyen : 4200 kg/ha
- Rendement maximum : 5000 kg/ha

### **Observation particulière**

Bonne variété à très haut potentiel.

## **1. 2 : Caractéristiques de la variété TELORIRANA**

### **NUMERO DE COLLECTION : 3737**

- Nom : TELORIRANA
- Synonyme : CNA4196
- Origine : Brésil
- Cycle végétatif total : 105-115 jours
- Aptitude culturale : Pluviale
- Zone de culture : Région du Moyen Ouest

### **Caractéristiques variétales**

- Hauteur de la plante : 120- 135 cm
- Port de la plante : Semi-dressé
- Port de la feuille paniculaire : semi-érigé
- Type de grain : Demi-long

### **Paddy**

- Aristation : Apicule
- Longueur : 10,6 mm
- Teinte : Fauve clair
- Poids de 1000 grains : 36,8 g

### **Caryopse**

- Longueur : 7,36 mm
- Translucidité : Bonne

### **Caractéristique agronomiques**

- Verse : sensible
- Rusticité : Bonne
- Tolérance à la pyriculariose : Bonne
- Réponse aux engrais : Très bonne

### **Rendements en essais**

- Rendement moyen : 4400 kg/ha
- Rendement maximum : 5300 kg/ha

### **Observation particulière**

Variété à haut rendement mais à tendance à verser sous forte fertilisation.

## ANNEXE 2 : DONNEES CLIMATIQUES DANS LA SERRE PENDANT L'EXPERIMENTATION

Mois	T min (°C)	T max (°C)	H min (%)	H max (%)
Décembre	15	29	46	61
Janvier	14	28	47	62
Février	16	30	45	60
Mars	17	31	44	59
Avril	18	32	43	58

Source (ABDILLAH, 2016)

T min : Température minimale ; T max : Température maximale ; H min : Humidité minimale ;  
H max : Humidité maximale ; °C : Degré Celsius ; % : Pourcentage

### ANNEXE 3 : CLASSEMENT D'APPRECIATION DE TENEUR EN ELEMENT MINERAL DANS LE SOL D'APRES RIQUIER EN 1966

#### **Carbone organique C (%) :** Walkley et Black

C(%) < 0,3 très pauvre

0,3 < C (%) < 0,6 pauvre

5 < C (%) < 10 moyen

1,7 < C (%) < 3,0 riche

C (%) > 3,0 très riche

#### **Azote N (%) :** (KJELDAHL, 1883)

N (%) < 0,05 très pauvre

0,05 < N (%) < 0,1 pauvre

0,1 < N (%) < 0,15 moyen

0,15 < N (%) < 0,25 riche

> 0,25 très riche

#### **Phosphore P (ppm) :** Méthode de Bray II

P (ppm) < 2,5 très pauvre

2,5 < P (ppm) < 5 pauvre

5 < P (ppm) < 10 moyen

10 < P (ppm) < 25 riche

> 25 très riche

#### **Rapport carbone et azote:**

##### **C/N**

C/N < 10 trop faible

C/N < 10 – 20 satisfaisant

C/N > 20 trop fort

#### **Potassium K (még/100g) :** Méthode à

L'acétate d'ammonium

K (még%) < 0,1 très pauvre

K (még%) 0,1 à 0,2 pauvre

K (még%) 0,2 à 0,4 moyen

K (még%) 0,4 à 0,8 riche

K (még%) > 0,8 très riche

#### **Le pH**

PH ≤ 5 fortement acide

5 < PH ≤ 6 moyennement acide

6 < PH < 7 très légère acide

7 < PH < 8 alcalinité

PH ≥ 8,5 forte alcalinité

## ANNEXES 4 : MALADIES

Le riz pluvial est en général cultivé sur des sols aérobies. L'absence d'eau de submersion crée autour des plants de riz des microclimats différents qui favorisent le développement de certaines maladies.

**Tableau x : Maladies fongiques (http4)**

Maladies	Symptômes	Méthodes de lutte
-pyriculariose ( <i>Pyricularia oryzae</i> ) <i>Magnaporthe grisea</i> .	-Des taches sur les feuilles sous-forme elliptique blanchâtres ou gris au centre brun ou brun rougeâtre dans le pourtour ; Des taches ou des anneaux bruns à noirs sur le rachis de l'inflorescence. des petites taches semblables sur l'épillet ; Des plaques bleuâtres sur le cou ou la tige ; Des panicules érigées, nécrose des tissus de la tige et graines vides,	-Utilisation des semences saines. Adopter la rotation des cultures autant que possible ; Enlèvement et brûler les pailles contaminées ; Enlèvement les plantes hôtes présentes, comme <i>Digitaria marginata</i> , <i>Dinebra retroflexa</i> et <i>Panicum repens</i> ; Utilisation des <i>Cultivars résistants</i> ; Enlèvement des parties de plants contaminés ; Effectuer les semis du riz à une époque permettant de synchroniser des conditions météorologiques contraires à la croissance des agents pathogènes avec les stades sensibles de la croissance des plants ;
-Helminthosporiose ( <i>Helminthosporium oryzae</i> ) <i>Cochliobolus miyabeanus</i> , <i>Drechslera oryzae</i>	-Apparitions des taches ovales sur les feuilles, noires sur les glumes ; Des ramifications des panicules et (rarement) sur les racines des jeunes plantules.	Supprimer les hôtes éventuels, comme <i>Setaria</i> sp, <i>Leersia</i> sp et <i>Echinochloa</i> sp ;
-Pourriture à sclérotos de la gaine ( <i>Rhizoctonia solani</i> )	-Des taches elliptiques ou ovoïdes sur la gaine. -Des taches oblongues sur les gaines ;	
-pourriture de la gaine ( <i>Acrocyndrium oryzae</i> ) .		

-Maladie d'Udbatta ( <i>Ephelis oryzae</i> )	Apparition d'une matière poudreuse blanche abondante sur les gaines et sur les jeunes panicules	-Utilisation des <i>Cultivars</i> <i>résistants</i> ;
---	--	--

**Tableau xi : Maladies bactériennes et virales (http4)**

<b>Maladies bactériennes</b>	<b>Symptômes</b>	<b>Méthodes de lutte</b>
flétrissement bactérien des feuilles ( <i>Xanthomonas</i> <i>campestris</i> pv. <i>oryzae</i> )	Apparition tout d'une petite tache mouillée à la périphérie des feuilles inférieures pleinement développées ; Jaunissement et fanaison des feuilles.	Utiliser des semences saines, indemnes ; Suppression des adventices. Enlèvement et brûler les pailles contaminées ; Pratiquer la rotation des cultures autant que possible. N'appliquer que le niveau optimum d'engrais, car des doses supérieures d'azote prédisposent la plante à la contamination ; <i>Cultivars résistants</i>
bactériose des stries translucides ( <i>Xanthomonas</i> <i>campestris</i> pv. <i>oryzicola</i> )	Apparition d'une exsudation bactérienne à la surface des lésions sur les feuilles.	Utilisation des semences saines et indemnes. Enlèvement et brûler les débris végétaux contaminés. Supprimer les autres plantes hôtes et les riz sauvages. Pratiquer la rotation des cultures autant que possible. Utilisation des <i>Cultivars</i> <i>résistants</i>

**Tableau xii : Maladies virales (http4)**

<b>Maladies virales</b>	<b>Symptômes</b>	<b>Méthodes de lutte</b>
tungro du riz	rabougrissement et la décoloration des feuilles en jaune et orange	Enlever et brûler les chaumes contaminés. Eradiquer les vecteurs. Utilisation des <i>Cultivars résistants</i>
nanisme herbacé	nanisme très prononcé, un tallage excessif et une pousse anormalement verticale.	Enlever les chaumes contaminés. Eradiquer le vecteur <i>Nilaparvata lugens</i> .
bigarrure jaune	Apparition des bigarrures chlorotiques linéaires sur les feuilles	Utilisation des <i>Cultivars résistants</i>