

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

BIORESSOURCES-AGRONOMIE

Option : **DÉFENSE DES CULTURES**

Présenté par

KOFFI Miano Jean-Baptiste

Année Académique :
2019-2020

Numéro d'ordre :

THÈME :

Evaluation des effets de la fertilisation azotée sur le développement de la panachure jaune du riz (RYMV) dans la localité de Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire.

Soutenu le 12 février 2021

Jury :

Mme. TONESSIA Dolou Charlotte, Maitre de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé	Présidente
M. AYOLIE Koutoua, Maitre de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé	Directeur Scientifique
M. SOKO Dago Faustin, Maître-Assistant, Université Jean Lorougnon Guédé	Encadreur
M. ZRO Bi Gohi Fernand, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé	Examineur

DEDICACE

*Je dédie ce document à la mémoire de mon défunt
père.
Ainsi qu'à ma mère pour toutes ces années
d'attentes et de sacrifices.*

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est l'aboutissement d'un processus qui a vu la contribution de plusieurs personnes sans lesquelles ce travail n'aurait pu être réalisé. Je voudrais à travers ces mots leur témoigner toute ma reconnaissance. Ainsi, je tiens à remercier très sincèrement :

- Professeur TIDOU Abiba Sanogo, Épouse KONE ; Professeur Titulaire d'Ecotoxicologie, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour les efforts qu'elle fait au quotidien pour la bonne marche de ladite institution ;

- Professeur KONE Tidiani, Professeur Titulaire d'Hydrobiologie, Vice-Président chargé de la pédagogie, de la vie Universitaire, de la recherche et de l'innovation technologique de l'Université Jean Lorougnon Guédé, qui a toujours été disponible pour répondre à nos préoccupations au plan académique ;

- Docteur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire de Génétique, Vice-Président chargé de la planification, de la programmation et des relations extérieures de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour ses conseils et son implication dans l'épanouissement des étudiants ;

- Docteur TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences en Phytopathologie, Directrice de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie, pour ses sages conseils dont j'ai bénéficié durant les années académiques.

- Docteur AYOLIE Koutoua, Maître de Conférences en Agrophysiologie, pour avoir accepté d'assurer la direction scientifique de ce travail. Je tiens à le remercier pour ses remarques pertinentes et ses conseils.

Je voudrais exprimer du fond du cœur toute ma gratitude au Docteur SOKO Dago Faustin, Maître-Assistant en phytopathologie, d'avoir accepté de m'encadrer, de me soutenir, en s'impliquant personnellement et en m'encourageant à terminer ce travail. En effet à un moment donné je n'y croyais vraiment plus. Puisse le Dieu Tout-Puissant bénir ses projets et lui accorder une longue vie.

Je tiens de façon particulière à remercier les membres du jury : Docteur TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, qui a accepté de présider le jury, Docteur ZRO Bi Gohi Ferdinand, Maître de Conférences qui a accepté d'examiner le document. Leurs critiques et leurs rigueurs scientifiques ont permis d'apporter des corrections très constructives à ce mémoire.

Mes remerciements vont également à l'endroit des membres du conseil scientifique qui ont accepté que ce travail soit soutenu.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES SIGLES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	
1. GENERALITES	3
1.1. RIZ.....	3
1.1.1. Origine et systématique du riz.....	3
1.1.2. Botanique et biologie du riz	4
1.1.2.1. Organes végétatifs.....	5
1.1.2.2. Organes reproducteurs	5
1.1.3. Physiologie de la plante du riz	6
1.1.3.1. Stades de développement du riz.....	6
1.1.3.2. Phases de développement du plant de riz	8
1.1.4. Ecologie du riz	9
1.1.5. Différents types de riziculture	10
1.2. PANACHURE JAUNE DU RIZ (RYMV)	11
1.2.1. Présentation de la maladie.....	11
1.2.2. Organisation génomique du RYMV	11
1.2.3. Propriétés biologiques et physico-chimiques du RYMV	12
1.2.4. Modes de transmission du virus	13
1.2.5. Résistance du riz au RYMV	14
1.2.6. Contournement de la résistance par le RYMV.....	14
1.2.7. Méthode de lutte.....	16
1.2.7.1. Lutte culturale	16
1.2.7.2. Lutte génétique.....	16
1.3. NUTRITION AZOTEE ET GESTIONS DES MALADIES DES PLANTES	17

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

2.1. PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE	19
2.1.1. Situation géographique	19
2.1.2. Climat.....	19
2.1.3. Sols et hydrographie	20
2.2. MATÉRIEL ET METHODES.....	20
2.2.1. MATERIEL	20
2.2.1.1. Matériel végétal.....	20
2.2.1.2. Matériel viral	20
2.2.1.3. Matériel technique.....	21
2.2.2. MÉTHODES	21
2.2.2.1. Prospection des bas-fonds	21
2.2.2.2. Prélèvement et fertilisation du sol de culture	21
2.2.2.3. Semis du riz.....	22
2.2.2.4. Préparation de l'inoculum et inoculation du virus aux plantes	22
2.2.2.5. Dispositif expérimental	23
2.2.2.6. Mesure des paramètres	24
2.2.2.6.1. Hauteur des plants	24
2.2.2.6.2. Vitesse de croissance	24
2.2.2.6.3. Détermination du nombre de talle	24
2.2.2.6.4. Vitesse de tallage	25
2.2.2.6.5. Chlorose foliaire	25
2.2.2.7. Analyse statistique.....	25
3. RESULTATS ET DISCUSSION	26
3.1. RESULTATS.....	26
3.1.1. Chlorose foliaire visuelle	26
3.1.2. Nombre de talle	27
3.1.3. Evolution de la hauteur des plants inoculés et non inoculés	27
3.1.4. Impact de l'azote sur le taux de réduction de hauteur	28
3.1.5. Vitesse de croissance.....	29
3.1.6. Vitesse de tallage.....	29

3.2. Discussion.....	31
TROISIEME PARTIE : CONCLUSION ET PERSPECTIVES	
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	33
RÉFÉRENCES	34

LISTE DES SIGLES

ADRAO :	Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'ouest
ARN :	Acide ribonucléique
BBCH :	Agence fédérale des variétés végétales et industrie chimique
CP :	Protéine de capsid
DSRP :	Document de stratégie de réduction de la pauvreté
BIRD :	Banque Internationale de Reconstruction et de Développement
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
IRRI :	Institut international de recherche sur le riz
IITA :	Institut international pour l'agriculture tropicale
ITLAB :	Laboratoire international de biotechnologie d'agriculture tropicale
JAS :	Jour après semis
JAI :	Jour après inoculation
NPK :	Azote phosphore potassium
ORF :	Open reading fram (cadre de lecture ouverte)
PPAAO :	Programme de productivité agricole de l'Afrique de l'Ouest
RFLP :	Polymorphisme de longueur des fragments de restriction
RYMV :	Rice yellow mottle virus
SES :	Système d'évaluation standard
UJLoG :	Université Jean Lorougnon Guédé
USDA :	Département de l'agriculture des Etats-Unis
VPg :	Protéine virale liée au génome

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Echelle de notation de l'évolution du RYMV	25
Tableau II: Effet des différentes doses d'azote sur la Chlorose foliaire	26
Tableau III: Evolution du nombre de talle en fonction de la dose d'azote	27
Tableau IV: Evolution de la hauteur des plants en fonction de la dose d'azote.....	28
Tableau V: Impact du RYMV sur le taux de réduction de la hauteur (%) à différentes doses de N	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Origine et diversification du Riz (Khush, 1977).....	3
Figure 2: Morphologie du riz (ADRAO, 2009)	4
Figure 3: Phases de développement du Riz (Wopereis et al., 2008).....	9
Figure 4: Organisation génomique de l'ARNm de 4450 nucléotides de RYMV	12
Figure 5: Carte du site d'étude.....	19
Figure 6: Semence de la variété Bouaké 189	20
Figure 7:Matériel technique (A) : Serre couverte par des moustiquaires ; (B) : Pots contenant du sol de bas-fond ; (C) : arrosoir	21
Figure 8: Préparation et inoculation du virus (A) : Inoculum ; (B) : inoculation aux plantes .	22
Figure 9: Dispositif expérimental.....	23
Figure 10: Évolution de la chlorose (A) : aspect des plants sains 63 jai ; (B) : aspect des plants malades à 28 jai ; (C) : aspect des plants malades à 42 jai.....	26
Figure 11: Evolution de la vitesse de croissance e fonction des doses d'azote	29
Figure 12: Evolution de la vitesse de tallage en fonction de la dose d'azote.	30

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le riz (*Oryza sativa* L.) est la culture céréalière la plus importante dans le monde en développement et il constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population du globe (Anonyme 1, 2008). Selon la FAO (2017), la production mondiale de paddy était estimée à 753 millions de tonnes. Le continent asiatique assure à lui seul 92 % de la production mondiale (FAO, 2006).

En Côte d'Ivoire comme dans beaucoup de pays de l'Afrique de l'Ouest, le riz est devenu l'aliment principal de la majorité des populations. Du fait de la forte urbanisation (48 % de citadins en 2007) et de la croissance démographique relativement élevée et estimée à 2,8 % (DSRP, 2009), la consommation de riz est passée de 140000 tonnes en 1961 à environ 1,3 millions de tonnes en 2008 (USDA, 2009). La production nationale, estimée entre 650 et 700.000 tonnes (PNR, 2008) d'équivalent riz usiné en 2007, ne permet de satisfaire que la moitié environ des besoins de la consommation intérieure. Pour combler le déficit, la Côte d'Ivoire a recours à des importations qui se sont élevées en 2007 à 808.781 tonnes en provenance essentiellement d'Asie, pour un coût total de plus de 150 milliards de FCFA (Ngaressseum, 2010). Les projections de la consommation et de la production ont révélé que si aucune action concrète n'est menée pour accroître la production rizicole nationale, la Côte d'Ivoire devra importer en 2020, 1.731.583 tonnes de riz (Bonson, 2012). Ainsi, l'augmentation continue de ces importations constitue un frein aux efforts de développement des pays ouest-africains.

Pour couvrir les besoins des populations, un vaste programme d'intensification de la culture du riz a été entrepris dans la plupart des pays africains, avec l'aide des partenaires au développement tel que la BIRD (Banque Internationale de Reconstruction et de Développement) et la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), à travers les innovations apportées dans le système de production (riziculture irriguée, utilisation d'engrais minéraux et introduction de variétés de riz améliorées) (Anonyme 2, 2009). Cependant, l'introduction de variétés améliorées, mais sensibles, a favorisé l'émergence de nombreuses maladies virales, bactériennes et fongiques.

Depuis les années 1990, dans tous les pays de l'Afrique de l'Ouest, la production du riz est sérieusement affectée par une maladie du type virale appelée la panachure jaune du riz (Rice Yellow Mottle Virus). La maladie s'est manifestée sous forme d'épiphytie à travers tous les écosystèmes de riziculture (Mamadou, 1999). Elle a été signalée pour la première fois en Côte d'Ivoire dans la localité de Dabou (Fauquet *et al.*, 1977). Depuis lors, elle s'est

répandue dans presque toutes les zones de riziculture irriguée. La panachure jaune du riz peut être très dévastatrice car elle cause des pertes de rendement allant jusqu'à 100 % chez les variétés sensibles (Kouassi *et al.*, 2005).

À ce jour, il n'existe aucun traitement phytosanitaire connu pour lutter de façon efficace contre la maladie. L'utilisation des variétés résistantes reste le seul moyen de lutte contre cette maladie. Cependant la littérature mentionne l'influence de la pratique culturale dans les interactions hôte-pathogène notamment la nutrition minérale qui constitue un des moyens pour réduire l'effet des maladies virales, bactériennes et fongique (Huber & Haneklauss, 2007 ; Dordas, 2008).

Selon ces auteurs, en l'absence de gène de résistance, la nutrition peut selon la nature et/ou des doses du fertilisant, orienter l'interaction, soit en faveur de l'hôte soit en faveur du pathogène.

L'objectif général de cette étude s'inscrit donc dans un contexte de gestion intégrée contre la panachure jaune pour améliorer la production des variétés sensibles notamment la variété Bouaké 189.

De façon concrète, il s'agit d'évaluer :

- ✚ l'effet de l'azote sur la sensibilité de la variété Bouaké 189 à travers les paramètres de croissance (croissance en hauteur, tallage) ;
- ✚ l'impact de l'azote sur la sévérité de la maladie.

Le présent mémoire comporte trois parties, outre l'introduction, la conclusion et les perspectives. La première partie présente les généralités sur le riz et la panachure jaune du riz. La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés et la troisième partie traite des résultats et de leurs discussions.

PREMIERE PARTIE :
GENERALITES

1. GENERALITES

1.1.RIZ

1.1.1. Origine et systématique du riz

Les données archéologiques actuellement disponibles témoignent de la récolte du riz dans la moyenne vallée du Yangtse et la haute vallée de la rivière Huai au sud de la Chine au néolithique supérieur. Un peu plus récemment, dans l'Uttar Pradesh au nord-est de l'Inde (Wang *et al*, 1999). Il est désormais admis qu'*O. 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. *Oryza rufipogon* est une espèce complexe qui comporte un continuum de formes annuelles, intermédiaires et pérennes et de formes autogames, intermédiaires et allogames (Second, 1985).

Des migrations d'*Oryza rufipogon* ont eu lieu vers l'Afrique. Les formes pérennes seraient à l'origine de l'espèce *Oryza longistaminata*, les formes annuelles donnant *Oryza barthii*, dont est dérivée *Oryza glaberrima* (Brigitte, 2007).

D'après la classification botanique, l'espèce *Oryza sativa* L. comprend trois sous-espèces : les sous-espèces *Japonica*, *Javanica* et *Indica*. Elle se distingue d'*Oryza glaberrima* par la ligule courte et tronquée. L'espèce *Oryza glaberrima* s'adapte à des terres hydromorphes extrêmement variées (Nzigiymana *et al* 1997, cités par Amuli 2015).

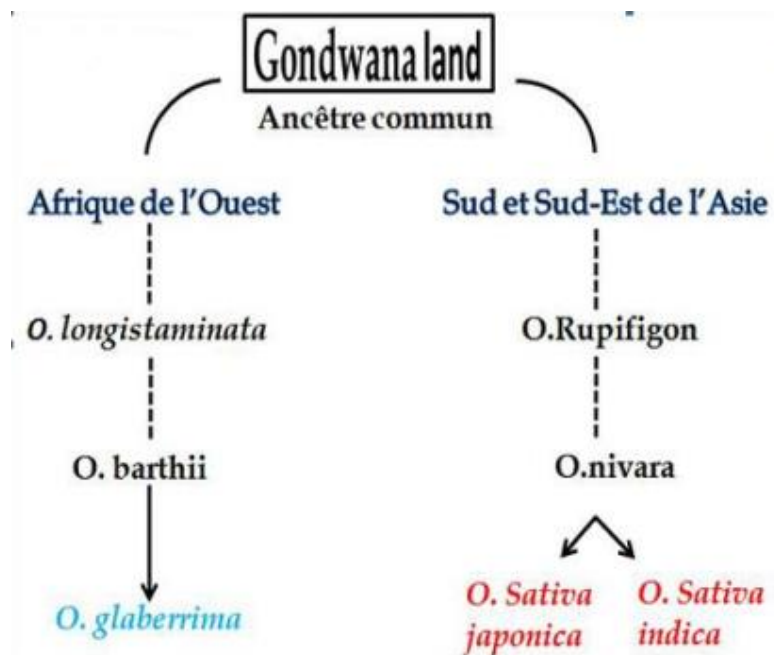


Figure 1: Origine et diversification du Riz (Khush, 1977)

1.1.2. Botanique et biologie du riz

D'un point de vue botanique, le riz est une Monocotylédone de la famille des Poacées. Il appartient à la tribu des Oryzées qui regroupe un nombre de genres variable selon les classifications compris entre 7 et 16 (Second, 1984). Les données taxonomiques les plus récentes considèrent que le genre *Oryza* compte lui-même 24 espèces (génomés A à K, $2n=24$ ou 48), dont deux sont cultivées, *Oryza sativa* (génome A, $2n=24$) à distribution mondiale et *Oryza glaberrima* (génome A, $2n=24$), cantonnée à l'Afrique de l'Ouest (IRRI, 2005). *Oryza sativa* est une céréale autogame (moins de 1% d'allogamie d'après Chandraratna, 1964).

Le cycle biologique du riz annuel s'opère en plusieurs étapes. Au cours de sa croissance, le riz passe par trois phases essentielles (ADRAO, 1995). Une phase végétative, allant de la germination à l'initiation des primordiaux floraux ; une phase reproductive, qui va de cette initiation à la pollinisation ; et enfin une phase de maturation du grain. Il convient de noter que la durée de la phase végétative varie significativement selon les espèces dans les mêmes conditions culturales, tandis que celle de la phase reproductive reste à peu près constante quelle que soit la variété (Akakpo, 2011). La plante de riz comprend des organes végétatifs : racines, tiges, feuilles et des organes reproducteurs à savoir la panicule constituée d'un ensemble d'épillets.

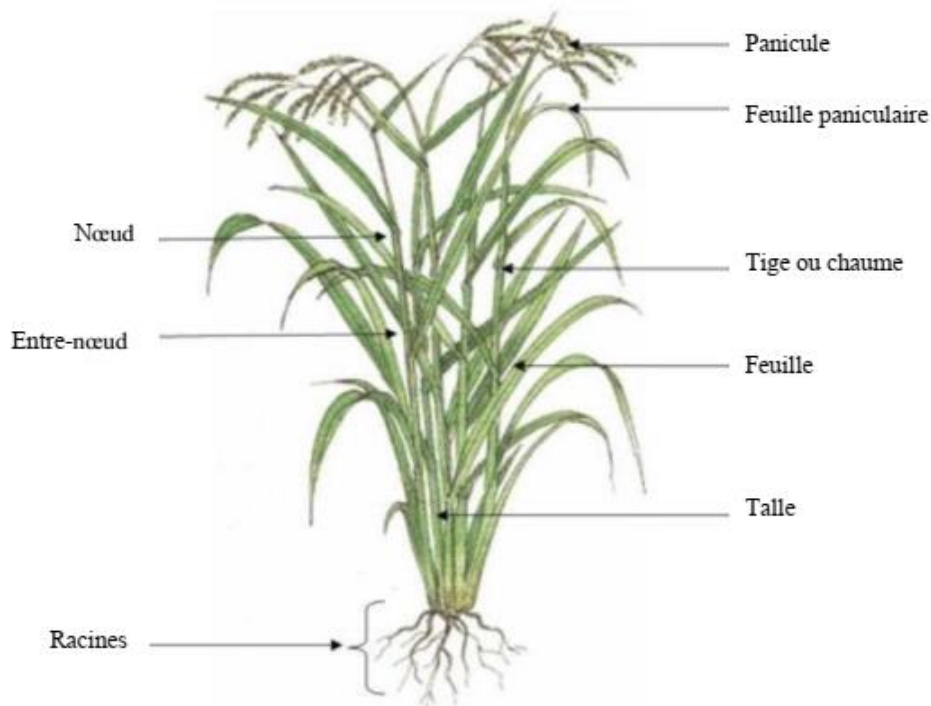


Figure 2: Morphologie du riz (ADRAO, 2009)

1.1.2.1.Organes végétatifs

❖ Les feuilles

La feuille du riz est composée d'une gaine foliaire, d'un limbe, d'une ligule, de deux auricules et d'un limbe allongé ayant une surface plane, lisse et des bords rugueux. C'est au sein de la feuille qu'est élaboré l'amidon indispensable à la vie de la plante et au remplissage des épillets. Le nombre de feuilles portées par la plante pendant tout son cycle varie suivant les variétés. La première feuille est nommée feuille coléoptile et la dernière feuille est appelée feuille drapeau ou feuille paniculaire (Lacharme, 2001).

❖ La tige

La tige est composée d'une série de nœuds et d'entre-nœuds. Les entre-nœuds sont creux, avec une surface lisse. Les entre-nœuds inférieurs sont plus courts que ceux supérieurs. Plus l'écart entre les nœuds inférieurs est réduit plus la plante résiste à la verse. Chaque nœud porte une feuille et un bourgeon qui peut se transformer en talle. Les tiges ont pour fonctions principales de transporter les éléments nutritifs et l'eau et à approvisionner les racines en air. La robustesse des tiges (diamètre) et leur taille sont aussi des critères de résistance à la verse. À partir des nœuds de la tige principale naissent de façon alternative d'autres tiges appelées talles secondaires qui peuvent à leur tour porter des talles tertiaires. L'ensemble des talles produit par un seul plant constitue la touffe de riz. L'importance du tallage est fonction de la variété mais est influencée par les conditions et pratiques culturale (Lacharme, 2001).

❖ Les racines

Les racines sont constituées de racines secondaires et de leurs poils absorbants. La racine primaire, qui croît à partir de la semence au moment de la germination, ne vit qu'un court moment. Elle est rapidement remplacée par des racines secondaires (Lacharme, 2001).

1.1.2.2.Organes reproducteurs

Les organes reproductifs (ou épillets) sont portés par la panicule qui est l'inflorescence de la plante. Le nœud situé entre l'entre-nœud supérieur de la tige et l'axe principal de la panicule est la base de la panicule. Il se présente souvent comme un anneau cilié et sert de limite pour la détermination de la longueur de la panicule et de la tige.

Selon les variétés, la panicule porte des ramifications primaires (ou racèmes), subdivisées en ramifications secondaires (ou axiles) et parfois même en ramifications tertiaires. Ces

ramifications sont les supports des épillets. Chaque épillet est composé de deux glumes, d'une cupule (ou rachilla) et d'une fleur terminale fertile, entourée par une glumelle supérieure et une glumelle inférieure. La glumelle inférieure est prolongée par une arête pour certaines variétés. Une panicule est érigée au moment de la floraison, et tend généralement à prendre la forme d'une faucille à mesure que les épillets se remplissent, mûrissent et deviennent des graines.

1.1.3. Physiologie de la plante du riz

1.1.3.1. Stades de développement du riz

Le cycle du riz est habituellement subdivisé en 10 stades de développement numérotés de 0 à 9 (BBCH, 2001 ; IRRI, 2002 ; Wopereis *et al.*, 2008) :

a. Stade 0 : Germination

La germination est caractérisée par la reprise des activités physiologiques au sein de la graine. Ce phénomène est déclenché par une humidité suffisante équivalente au quart du poids de la graine dans un environnement offrant une température comprise entre 20°C et 35°C. En présence d'oxygène, l'embryon émerge par l'apparition de la coléoptile, d'où sortira la première feuille mais en condition anaérobie, la radicule (première racine) émerge la première du grain. Le stade germination débute avec l'apparition de la coléoptile ou de la radicule et prend fin avec l'émergence de la première feuille. Cette première feuille se distingue par une anatomie peu différenciée et un bout arrondi (Lacharme, 2001).

b. Stade 1 : Plantule

Le stade plantule correspond à la période comprise entre l'émergence de la première feuille et l'apparition de la cinquième feuille. Chaque feuille est produite tous les 3 ou 4 jours. Pendant ce stade, long d'environ 14 jours, le jeune plant, fragile, présente un système racinaire peu développé et se nourrit essentiellement des réserves de la graine.

c. Stade 2 : Tallage

L'émission de tiges secondaires débute lorsque le plant arrive au stade 5 feuilles : c'est le tallage. Le nombre de talles augmente jusqu'à un certain seuil (tallage maximum) avant de décroître par la dégénérescence de certaines d'entre elles.

d. Stade 3 : Elongation des entre-nœuds.

Vers la fin du tallage, les nœuds initialement très proches les uns des autres se séparent avec l'élongation des entre-nœuds. Il s'en suit une augmentation de la hauteur de la tige.

e. Stade 4 : L'initiation paniculaire (IP).

Ce stade marque le début de la phase reproductive et est caractérisée par la formation de la panicule. Dans les débuts, l'ébauche de la panicule est difficilement perceptible à l'œil nu puisqu'il faut attendre environ une dizaine de jours pour qu'elle mesure entre 1 et 1,5 mm. Dans la pratique, une coupe longitudinale de la tige permet de mettre en évidence ce jeune organe conique situé au sommet du dernier entre-nœud. Le nombre total d'épillets que portera la panicule est déjà fixé au stade de l'initiation paniculaire. La date de l'initiation paniculaire, chez le riz est conditionnée par beaucoup de facteurs tels que la variété, les températures et la photopériode. Contrairement aux variétés à cycle long, l'initiation paniculaire intervient chez les variétés à cycle court pratiquement au même moment que le tallage maximum et l'élongation des entre-nœuds.

f. Stade 5 : Montaison.

Ce stade est caractérisé par un gonflement à la base de la feuille paniculaire dû à une ascension de la panicule à l'intérieur de la gaine foliaire. Les différentes parties des épillets se développent au fur et à mesure que la panicule poursuit son ascension pour atteindre sa taille définitive avant son émergence de la feuille paniculaire.

g. Stade 6 : Épiaison et floraison.

L'épiaison débute dès que le bout supérieur de la panicule s'aperçoit à la base de la feuille paniculaire. L'épiaison se déroule sur une période de deux semaines et prend fin avec la sortie totale de la panicule. La floraison commence trois jours après le début de l'épiaison et ensuite, les deux processus se poursuivent simultanément. La floraison est marquée par l'ouverture et l'épanouissement de la fleur. Elle se produit du sommet de la panicule vers la base. Chez le riz, la floraison se déroule généralement avant midi, entre 9 h et 11 h et l'autofécondation est la règle.

h. Stade 7 : Grains.

Au stade grain laiteux, les panicules demeurent vertes et dressées. Au niveau de chaque épillet, l'ovaire fécondé se gonfle et le caryopse se développe pour atteindre sa taille maximum au bout de sept jours. Le contenu du grain en formation est d'abord aqueux avant de devenir laiteux. Le contenu laiteux du grain devient mou puis pâteux plus ou moins dure deux semaines après la

floraison. La panicule s'assèche progressivement et, suivant la variété, sa couleur vire du vert au jaune paille ou noir. Le port de la panicule, initialement dressé, devient de plus en plus courbé.

i. Stade 8 : Maturité.

Ce stade est atteint lorsque 85 à 90 % des grains de la panicule sont mûrs. A l'instar de la floraison, la maturation des grains commence du sommet de la panicule vers la base. Le grain mûr est dur au toucher et présente une coloration différente du vert. A ce stade, sa taille maximale ainsi que son poids maximal sont atteints. C'est la raison pour laquelle, la panicule est courbée.

1.1.3.2. Phases de développement du plant de riz

Les dix stades de développement du riz sont répartis en trois grandes phases (IRRI, 1985) (Figure 3) :

- la phase végétative, de la germination (stade 0) à élévation des entre-nœuds (stade 3) ;
- la phase reproductive, de l'initiation paniculaire (stade 4) jusqu'à la floraison (stade 6) ;
- la phase de maturité, du stade grain laiteux (stade 7) à la maturité complète (stade 8).

❖ La phase végétative

Le plant ne développe que des organes végétatifs pendant la phase végétative. Sa durée dépend de la longueur de cycle des variétés et des paramètres climatiques tels que les températures basses et la photopériode. Les températures basses allongent la durée de la phase végétative. De même cette phase est plus longue chez les variétés de riz sensibles à la photopériode. L'essentiel des opérations agronomiques se déroule durant la phase végétative, notamment la fertilisation et les opérations de lutte contre les mauvaises herbes, les insectes et les maladies.

❖ La phase reproductive

Pendant la phase reproductive, l'essentiel du fonctionnement de la plante est dirigé vers la formation et la maturation des organes reproducteurs. Les quatre stades phénologiques suivants sont regroupés au sein de la phase reproductive : initiation paniculaire, montaison, épiaison et floraison. La phase reproductive dure en moyenne entre 30 et 35 jours. Cette durée est moins influencée par la nature de la variété et les paramètres climatiques (notamment la

température et la photopériode). Cependant des températures basses, un déficit hydrique et la salinité peuvent occasionner la stérilité des épillets, ce qui se traduit par des grains vides.

❖ La phase de maturation

La phase de maturité concerne le processus de remplissage et de maturation du grain. Le grain passe successivement par les stades laiteux, pâteux avant d'atteindre la maturité définitive. La phase de maturité a une durée très peu variable d'environ 30 jours, quelles que soient la variété et la saison. Cette phase est particulièrement sensible aux températures élevées, aux vents violents et au déficit hydrique, surtout lorsque le grain est au stade pâteux (ADRAO, 1986 ; Wopereis *et al.*, 2008).

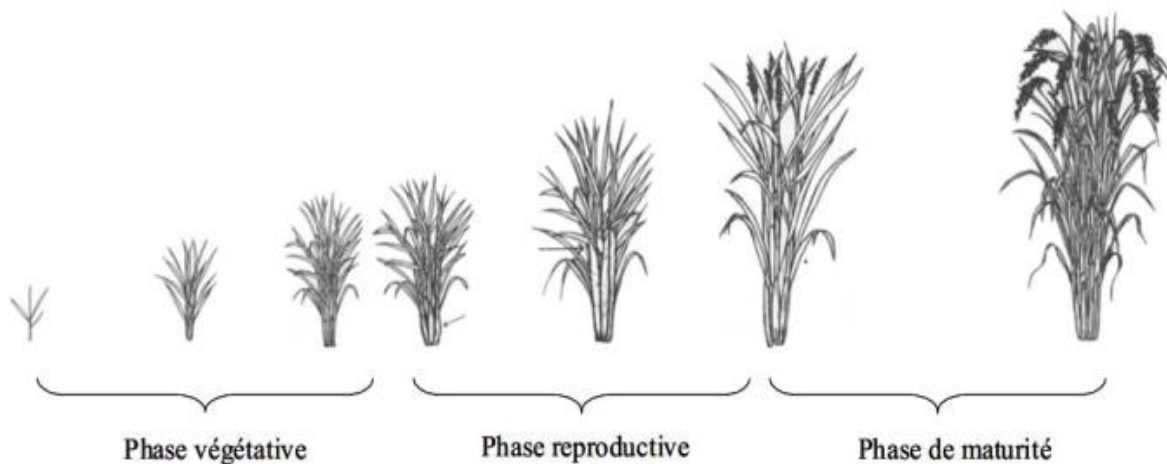


Figure 3: Phases de développement du Riz (Wopereis *et al.*, 2008)

1.1.4. Ecologie du riz

Le riz africain pousse bien au-dessus de 30°C, mais au-dessus de 35°C, la fertilité des épillets diminue considérablement. Les températures inférieures à 25°C réduisent la croissance et le rendement. *Oryza glaberrima* est généralement une plante de jours courts, mais sa photosensibilité varie selon les écotypes, depuis les plantes non sensibles jusqu'aux plantes très sensibles (Bezançon & Diallo, 2006). En ce qui concerne le sol, le riz africain est cultivé sur une large gamme. La disponibilité en eau est une condition adéquate pour toute riziculture mais l'espèce africaine a des prédispositions naturelles à résister à la sécheresse (Akakpo, 2011).

Quant à l'espèce asiatique *Oryza sativa*, elle pousse sur sol sec ou inondé et sa température moyenne pendant la phase de croissance varie de 20 à 38°C. Des températures nocturnes

inférieures à 15°C peuvent entraîner une stérilité de l'épillet. Des températures supérieures à 21°C lors de la floraison sont nécessaires à l'anthèse et à la pollinisation. En système pluvial, des précipitations d'au moins 750 mm sur une période de 3 à 4 mois sont nécessaires et contrairement à l'espèce africaine, *Oryza sativa* est vulnérable à la sécheresse (Akakpo, 2011).

1.1.5. Différents types de riziculture

Le riz est cultivé dans des milieux très variés couvrant une large gamme d'altitudes et de latitudes. Cette plante, d'origine aquatique, et donc assez exigeante en eau par rapport à d'autres céréales, est surtout caractérisée par une grande plasticité vis-à-vis de ses conditions d'alimentation hydrique. C'est sur ce point que se fondent la plupart des classifications des types de rizicultures (Courtois, 1998) :

- ✓ Riziculture irriguée, endiguée, avec parfaite maîtrise de l'eau (apport comme retrait) qui occupe 53 % des surfaces.
- ✓ Riziculture inondée, endiguée, sans maîtrise de l'eau qui peut être subdivisée en plusieurs catégories en fonction des risques plus ou moins élevés de sécheresse et/ou de submersion et de la hauteur d'eau dans la parcelle. Ce type de riziculture représente 25 % des surfaces.
- ✓ Riziculture pluviale dont l'alimentation hydrique dépend uniquement de la pluviométrie (riziculture pluviale stricte) ou de la présence d'une nappe éventuelle (riziculture de nappe). Ce type de riziculture représente 13 % des surfaces en Asie mais respectivement 60 et 75 % en Afrique et en Amérique Latine.
- ✓ Riziculture flottante, qui suit la crue des grands fleuves, occupant 9 % des surfaces. Les rendements s'améliorent avec la maîtrise de l'eau mais les coûts d'aménagement des rizières augmentent en parallèle. La riziculture irriguée permet une intensification de la culture (double voire triple culture annuelle) et une diminution appréciable des aléas de culture garantissant des rendements élevés (6 t/ha en saison des pluies et jusqu'à 10 t/ha en saison sèche). Les variétés très productives et les riz hybrides F1 sont privilégiés dans ce contexte. La culture pluviale, en revanche, ne demande aucun aménagement particulier mais comporte plus de risques, notamment en cas de sécheresse. La production n'est répartie que sur un seul cycle de culture et les rendements sont plus faibles et plus variables (entre 1,5 t/ha et 4,5 t/ha). Les variétés rustiques sont alors privilégiées.

1.2. PANACHURE JAUNE DU RIZ (RYMV)

1.2.1. Présentation de la maladie

La panachure jaune du riz (*Rice Yellow Mottle Virus, RYMV*) est la maladie posant le plus de problèmes à la riziculture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Elle affecte la riziculture pluviale et de bas-fonds (Bakker, 1974). Décrite pour la première fois au Kenya (Bakker, 1974), elle s'est étendue à l'ensemble du continent africain et à Madagascar lors de l'intensification de la riziculture (Coulibaly et al., 1994). En effet, l'introduction de variétés améliorées, mais sensibles, a favorisé l'émergence de nombreuses maladies virales, bactériennes et fongiques. Parmi ces maladies, celle causée par le virus de la panachure jaune du riz (RYMV) semble être la principale affection phytopathogène, sous écosystème irrigué, en zone tropicale humide et en zone sahélienne.

La maladie se manifeste par un changement général de la couleur des feuilles qui présentent des panaches chlorotiques vert clairs lorsqu'elles sont jeunes, et jaunes lorsqu'elles sont plus âgées. Lors d'une attaque précoce, on observe un rabougrissement de la plante pouvant parfois provoquer sa mort. La rizière atteinte par la maladie présente une coloration générale jaune-orangée (Fauquet & Thouvenel, 1987). La manifestation de la maladie est fonction de la sensibilité des variétés de riz. En effet, certaines variétés conservent un feuillage globalement vert alors que chez d'autres, le jaunissement est dominant. En Côte d'Ivoire, elle a été signalée pour la première fois en 1977 dans la localité de Dabou (Fauquet & Thouvenel, 1977). Les pertes de récolte dues à cette virose du riz varient de 20 à 100 % selon la variété de riz, la souche virale, le stade végétatif de la plante et l'environnement (Raymundo & Buddenhagen, 1976 ; Awoderu, 1991 ; N'Guessan, 2001).

1.2.2. Organisation génomique du RYMV

L'organisation du génome des sobémovirus a été récemment mise à jour avec l'identification d'un nouveau cadre ouvert de lecture (ORF) (Ling et al, 2013). Par conséquent, le génome du RYMV est organisé en cinq cadres ouverts de lecture (Figure 4). L'ORF1, situé à l'extrémité 5' du génome, code pour la protéine P1 impliqué dans le mouvement du virus dans la plante et joue ainsi un rôle infectieux important (Bonneau *et al.*, 1998). Cependant, elle n'est pas indispensable à la réplication du RYMV. Voinnet *et al.*, (1999) et Siré *et al.*, (2005) ont montré que la protéine P1 est capable de supprimer l'extinction post-transcriptionnelle des gènes (ou silencing) chez le tabac ou le riz.

L'ORF2a code pour une polyprotéine, clivé par la suite pour donner une sérine protéase et une protéine virale liée au génome (VPg). La VPg est impliquée dans la virulence et détermine la capacité à surmonter les gènes de résistance (Hebrard et al, 2006 ; Pinel-Galzi *et al.*, 2007). Il est également impliqué dans l'adaptation du RYMV à des espèces de riz asiatique ou africaine (Thiemele et al, 2010). L'ORF 2b, code pour l'ARN polymérase ARN dépendante (RdRP). L'ORF3 code pour la protéine de capsid (CP) par l'intermédiaire d'une molécule d'ARN subgénomique, laquelle est un ARN messager à un fort potentiel de traduction. En plus de son rôle de protection du génome viral, la CP est impliquée dans la propagation du virus dans la plante (Brugidou *et al.*, 1995).

L'extrémité 3' de l'ARN viral ne possède pas de queue poly (A) l'extrémité 5' est lié de façon covalente à une protéine virale dite "protéine virale liée au génome" (Viral protein genomelinked, VPg) (Hull, 1988 ; Hull & Fargette, 2005). Très récemment un nouveaux ORF nommé ORFX a été mise en évidence (Ling *et al.*, 2013). Le rôle fonctionnel de l'ORFX n'est pas entièrement connu, mais il semble contrôler la mise en place d'une infection systémique (Ling *et al.*, 2013).

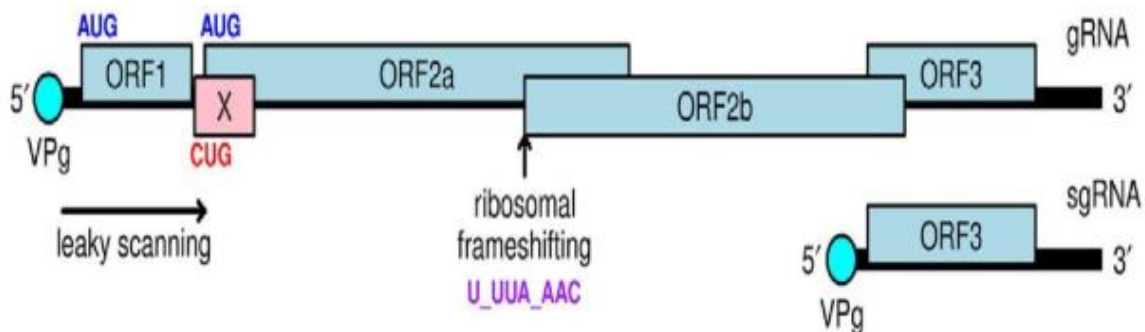


Figure 4: Organisation génomique de l'ARNm de 4450 nucléotides de RYMV

Les ORF et les protéines correspondantes sont comme suit : ORF1(P1), ORFX, ORF2a (protéase et VPg), ORF 2b (RdRP) et ORF3 (protéine de capsid) (Ling *et al.*, 2013).

1.2.3. Propriétés biologiques et physico-chimiques du RYMV

Le RYMV est un virus très infectieux et stable avec un point de thermo-inactivation de 70°C (Fauquet & Thouvenel, 1987). Son point final de dilution varie entre 10⁻⁶ et 10⁻¹¹ en fonction des extraits de riz infectés (Bakker, 1974 ; Fauquet & Thouvenel, 1987). A partir de 65°C, la majeure partie du pouvoir pathogène du virus est perdue mais, quelques particules virales

restent infectieuses jusqu'à 80°C (Bakker, 1974). A température ambiante (24-27°C), l'infectiosité du RYMV dans les extraits de feuilles est préservée pendant un à deux mois. A 4°C, le virus peut rester infectieux pendant 260 jours (Bakker, 1974). Le pouvoir infectieux du virus est aussi maintenu pendant près de 155 jours à température ambiante (20°C). Enfin, le RYMV conserve son infectiosité dans les feuilles sèches infectées, après un an de stockage dans le CaCl₂ (Bakker, 1974). Il garde son infectiosité pendant plusieurs mois voire plusieurs années lorsque le matériel végétal infecté est congelé, cette méthode est couramment utilisée aujourd'hui pour la conservation des isolats du RYMV.

1.2.4. Modes de transmission du virus

Le RYMV est un virus facilement transmissible par inoculation mécanique au laboratoire ou au champ. Il est transmis par plusieurs espèces d'insectes coléoptères tels que : *Trichispa sericea*, *Chatochnema abyssinicas* spp, et *Sessilia pussilla* (Kouassi *et al*, 2005). Dans la famille des orthoptères, des sauterelles tels que *Gonocephalus merumontanus*, *G. longipennis* et *Oxy spp* ont été identifiées comme vecteurs du RYMV (Bakker, 1974). La transmission naturelle du RYMV par les mammifères tels que les vaches (*Bos spp.*), les ânes (*asinus spp.*), les rats (*Arvicanthis niloticus*), a été rapportée par Sarra & Peters, (2003). Par ailleurs, la transmission par le vent et l'incidence des pratiques culturales sur la propagation de la maladie ont aussi été démontrées. Les pratiques culturales à travers le contact entre plants malades et plants sains comme lors du repiquage, ou du désherbage par l'intermédiaire de la main de l'homme assurent la propagation de la maladie dans le champ. (Sarra *et al*, 2004 ; Traoré *et al*, 2006 ; Traoré *et al*, 2008). Il semblerait que des particules virales infectieuses soient dans l'eau du sol, sans que la contamination directe des plantes par le sol puisse être démontrée. Le RYMV peut pourtant être véhiculé par l'eau dans les rizières, infectant de jeunes plantes saines, à travers des blessures sur la tige ou à l'extrémité des racines (Abo *et al.*, 2002). Cependant, Le virus n'est ni transmissible par des semences de riz (Fauquet et Thouvenel, 1977 ; Konaté *et al*, 2001 ; Abo *et al*, 2004 ; Allarangaye *et al*, 2006), ni par les engrais organiques utilisés parfois dans les champs de riz (Sarra, 1998) ; ni par les acariens et les nématodes (Bakker, 1974).

La gamme d'hôtes du virus est très limitée et comprend uniquement les espèces de la famille des poacées. Les hôtes naturels du RYMV sont les deux espèces de riz cultivé (*O. glaberrima* et *O. sativa*) et plusieurs espèces de riz sauvages. Outre le riz, les hôtes naturels comprennent le riz sauvage *Oryza longistaminata*, *Oryza barthii*, *Ischaemum rugosum* Salisb., *Echinochloa*

colona (L.) Link, *Echinochloa crus-galli* (L.) Link., *Atrovirens Eragrostis* (Desf.) Trin. Ex Steud et *Panicum repens* L. (Awoderu, 1991 ; Konaté et al, 1997). Plusieurs membres de la famille des espèces des graminées : Chloridaceae et Eragrostidaceae ont été identifiés comme des hôtes expérimentaux (Awoderu, 1991 ; Allarangaye et al, 2007).

1.2.5. Résistance du riz au RYMV

La résistance est un phénomène inhibant totalement ou partiellement une ou plusieurs étapes du cycle viral dans une plante appartenant à une espèce hôte ou non-hôte. La résistance sera qualifiée respectivement de totale ou de partielle. Une plante sera dite sensible, lorsque le virus est capable d'infecter, de se multiplier et de migrer au sein de la plante (Legnani, 1995). Actuellement, la lutte contre la panachure jaune du riz repose essentiellement sur l'exploitation des résistances variétales naturelles. Des programmes de criblage de nouvelles résistances naturelles et de sélection sont actuellement en cours à l'IITA (International Institute for Tropical Agriculture) et à l'ADRAO (Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest), basés sur l'observation des symptômes. L'utilisation d'espèces sauvages de riz et de riz cultivés africains (*Oryza glaberrima*) peut également être envisagée car elles représentent des réserves potentielles particulièrement importantes de gènes de résistance (Bonman *et al.*, 1992). Un programme basé sur la résistance dérivée de l'agent pathogène a été initié depuis quelques années par l'ILTAB (International Laboratory for Tropical Agricultural Biotechnology) dont l'objectif est l'obtention de plantes transgéniques résistantes au RYMV. Des clones infectieux du virus ont été synthétisés et placés en aval du promoteur de l'ARN polymérase du bactériophage T7 (Brugidou *et al.*, 1995). Les principales variétés de riz cultivées appartiennent à l'espèce *Oryza sativa*. L'utilisation des marqueurs isoenzymatiques et RFLP a permis de mettre en évidence, au sein de cette espèce, deux principaux groupes génétiques, analogues à des sous-espèces : le groupe indica et le groupe japonica (Glazmann, 1987). Les riz de type indica (culture inondée ou irriguée) sont sensibles au RYMV, tandis que les variétés de type japonica (culture pluviale) sont le plus souvent résistantes.

1.2.6. Contournement de la résistance par le RYMV

Le contournement des sources de résistances du RYMV a fait l'objet de plusieurs études. Elles permettent de mieux comprendre l'interaction entre la plante et le virus, mais également d'avoir un aperçu des interactions en jeu dans l'établissement de la résistance.

Plusieurs mutations, apparaissant *de novo* dans la plante, sont impliquées dans le contournement des résistances de Gigante, Bekarosaka et Tog5681. Toutes sont situées dans le domaine central de la VPg entre les codons 37 et 52. Le contournement de l'allèle *rymv1-2* chez Gigante et Bekarosaka est permis par la mutation du codon 48, ou, dans des cas plus rares, du codon 52 (Pinel-Galzi *et al.*, 2007). Le contournement de la résistance de Tog5681 est, lui, rendu possible par des mutations aux positions 41 et 52 (Traoré *et al.*, 2010). Ces mutations permettent le rétablissement de l'interaction entre la VPg et *RYMVI* dans les plantes résistantes (Hébrard *et al.*, 2008), avec toutefois une perte de fitness de ces variants virulents (Poulicard *et al.*, 2010).

La résistance de Gigante implique également des mutations dans l'extrémité 3' de l'ORF2a, chevauchante de l'ORF2b (Poulicard *et al.*, 2014). Cette région correspond à l'homologue de la protéine P8 décrite chez le SeMV (Satheshkumar *et al.*, 2004 ; Nair & Savithri, 2010). Le mécanisme expliquant ce contournement n'est toutefois pas établi. Ces mutations, impliquant une baisse de fitness importante, sont reversées dans un hôte sensible.

Le contournement de la résistance de Tog7291 (*RYMV2*) implique des mutations au début de l'ORF2a, dans le domaine d'ancrage à la membrane de la polyprotéine 2a (Pinel-Galzi *et al.*, sub). Ce domaine est supposé permettre l'ancrage de la protéine dans les membranes cellulaires et semble impliqué dans la synthèse du brin négatif du virus (Sõmera *et al.*, 2015).

Par ailleurs, le résidu 49 de la VPg, très conservé, est une position clé dans le contournement des différentes résistances. Le polymorphisme E/T à cette position détermine notamment le contournement de *RYMVI* (Traoré *et al.*, 2010). Ainsi les isolats possédant un acide glutamique à cette position (E49) ne contournent pas *rymv1-3* chez Tog5681 alors que ceux qui ont une thréonine (T49) contournent difficilement *rymv1-2* chez Gigante. Par ailleurs, les isolats T49 ont un avantage sélectif dans les accessions *Oryza glaberrima* sensibles (Poulicard *et al.*, 2012). Ce polymorphisme est également impliqué dans le contournement de la *RYMV2* : les isolats T49 contournent plus facilement la résistance de Tog7291 (Pinel-Galzi *et al.*, sub). Le polymorphisme T49 pourrait donc être une adaptation du virus à l'espèce *Oryza glaberrima*. Ce polymorphisme est en lien avec la distribution géographique des isolats. Les isolats E49 sont majoritaires en Afrique de l'Est et dans la partie savane de l'Afrique de l'Ouest alors que ceux qui ont l'acide aminé T49 le sont dans la partie boisée de l'Afrique de l'Ouest. Cette différence peut notamment permettre de mettre en place un plan de déploiement régional des différents allèles de résistance afin d'obtenir une meilleure durabilité de la résistance.

1.2.7. Méthode de lutte

1.2.7.1. Lutte culturale

Des progrès ont été faits pour comprendre l'épidémiologie de la panachure jaune du riz, pour la mise au point de mesures de luttés culturales. Il s'agit de moyens de lutte prophylactique permettant de limiter le maintien et la dissémination du RYMV. Pour cela la destruction des résidus de récolte (pailles et repousses de riz infectées), le nettoyage des canaux d'irrigation afin d'éliminer les éventuelles adventices hôtes du virus, les repiquages de plantules de riz avant les pullulations d'insectes vecteurs ou le retardement des repiquages jusqu'à ce que les populations de vecteurs soient faibles. De même, l'élimination et le remplacement systématique des plants malades sont des mesures visant à diminuer la quantité d'inoculum (Abo *et al.*, 1998 ; Calvert *et al.*, 2003). En outre, la préservation des pépinières des infections précoces peut permettre de limiter les taux d'infection primaires et secondaires (Traoré *et al.*, 2006).

1.2.7.2.Lutte génétique

La lutte génétique de la panachure jaune du riz a été considérée comme le moyen le plus efficace pour lutter contre la maladie (Leung *et al.*, 2003). Dans le souci de trouver des variétés de riz dotées d'une résistance contre le RYMV, plusieurs études ont été menées. Des variétés de riz résistantes ont été recommandées en remplacement de celles sensibles (Abo *et al.*, 1998 ; Sy & Séré, 2001). Deux types de résistance naturelle ont été caractérisés chez certaines variétés de riz. Il s'agit de la résistance élevée et de la résistance partielle.

La résistance élevée est caractérisée par une absence de l'expression des symptômes et un blocage du mouvement du virus dans la plante (Ndjiondjop *et al.*, 2001).

La résistance partielle a un déterminisme génétique du type polygénique et est caractérisée par un retard dans l'apparition des symptômes et dans l'accumulation des particules virales. Elle a été identifiée chez les variétés de riz de la sous espèce *O. sativa japonica* telles qu'Azucena, Moroberekan, lac 23 et OS6 (Ioannidou *et al.*, 2000).

Des tentatives de développement de variétés transgéniques résistantes au RYMV ont été réalisées. Elles étaient tous basées sur le principe de la résistance médiée par les agents pathogènes (Tai *et al.*, 1999 ; Matthew *et al.*, 2002). Il s'agit d'intégrer un fragment du génome de l'agent pathogène dans le génome de la plante par transgénése afin de conférer à la plante la résistance à cet agent pathogène.

Les plantes transgéniques exprimant des ARN polymérase ARN-dépendante de la panachure jaune du riz ont été produits (Pinto & Baulcombe, 1999). Cependant, le niveau de résistance chez les plantes transgéniques était similaire à celle de la résistance naturelle partielle et sont contournés comme les résistances naturelles, par certains isolats du RYMV (Sorho *et al*, 2005). Les Plants de riz transgéniques exprimant la protéine de capsid ont également été produits (Kouassi *et al*, 2006). Malheureusement dans ce cas, la présence du transgène a plutôt favorisé l'infection et l'accumulation virale. Ces résultats contrastés indiquent sans doute, l'insuffisance des connaissances sur les bases moléculaires de la résistance du riz au RYMV.

1.3. NUTRITION AZOTEE ET GESTIONS DES MALADIES DES PLANTES

L'azote fait partie des éléments essentiels que la plante puise dans la solution du sol pour assurer sa croissance et son développement. En effet l'azote entre dans la composition de molécules indispensables telles que les acides aminés et les acides nucléiques mais aussi dans celle de certains métabolites secondaires. Cet élément représente de 1,2 à 7,5 g pour 100 g de MS chez les plantes (Meyer *et al*, 2008). Dépendant de l'espèce de plantes, du stade de développement et de l'organe, la teneur de l'azote nécessaire à une croissance optimale varie entre 2 % et 5 % du poids de la plante. Lorsque l'apport est suboptimal, la croissance est retardée, l'azote est mobilisé depuis les feuilles âgées en direction des régions de nouvelle croissance. Plusieurs études ont montré que la disponibilité des sols en azote, bien qu'altérant considérablement la croissance des pousses, n'affecte pas significativement la dynamique de croissance en profondeur (Chandra & Mishra, 1991).

La nutrition minérale des plantes, à l'instar d'autres techniques culturales, est susceptible d'influencer la sensibilité des cultures aux maladies et ravageurs. L'effet de la nutrition des cultures sur leur sensibilité aux maladies a été rapporté depuis plusieurs décennies (Huber & Watson, 1974 ; Datnoff *et al.*, 2007). Mais chaque élément minéral a un ou plusieurs effets spécifiques dans la relation hôte-pathogène. Ainsi, une augmentation des apports peut selon l'élément minéral, la plante et la maladie considérée augmenter ou diminuer l'incidence et la sévérité des symptômes (Huber & Thompson, 2007 ; Walters & Bingham, 2007). Cette variabilité des effets de la fertilisation, notamment azotée, est liée au fait que la nutrition des plantes peut exercer une influence à différents niveaux de l'interaction hôte-pathogène. Les nutriments ont un effet sur la croissance et le développement des cultures, donc sur l'architecture des plantes et par voie de conséquence sur le microclimat au sein du couvert. Une fertilisation azotée excessive pourra favoriser un couvert dense et peu aéré, favorable au développement de champignons pathogènes. Parallèlement, la nutrition a un effet sur le

métabolisme des plantes, notamment le métabolisme secondaire, qui inclut la synthèse de molécules impliquées dans la défense contre les maladies et ravageurs. La fertilisation azotée module également la synthèse de protéines impliquées dans les processus de défense.

Les facteurs nutritionnels qui favorisent la croissance des plantes hôtes favorisent également la multiplication des virus. Cela est particulièrement vrai pour N et le phosphore (P). Cependant, malgré la multiplication rapide du virus, les symptômes visibles de l'infection ne correspondent nécessairement à une augmentation de nutriment minéral fournie à la plante hôte. En fait, les symptômes d'infections virales disparaissent parfois lorsque les réserves d'azote sont importantes, voire bien que la plante entière soit infectée. Les symptômes visibles sont dépendant de la compétition pour N entre les virus et les cellules hôtes. Cette compétition varie avec différentes maladies et peuvent être influencés par des facteurs environnementaux, comme la température (Arnold *et al.*, 2010). Des doses élevées d'azote ont induit une incidence plus élevée de la pyriculariose, et ses effets sont modulés par différents facteurs (Sy & Serre, 1996) notamment le type de sol, des méthodes d'application et de la période d'application.

**DEUXIEME PARTIE : MATERIEL
ET METHODES**

2.1. PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

2.1.1. Situation géographique

Notre étude a été réalisée dans la commune de Daloa, une ville du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Chef-lieu du département homonyme et de la région du Haut-Sassandra, Daloa est située à 141 km de Yamoussoukro la capitale politique et à 383 km d'Abidjan la capitale économique. Les coordonnées géographiques situent la ville à 6°53 de latitude nord et 6°27 de longitude ouest. Selon le dernier recensement général de la population et de l'habitat (RGPH 2014), sa population est estimée à 1.430.960 habitants, pour une superficie 5400 km². Quant au site d'expérimentation, il est situé au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG).

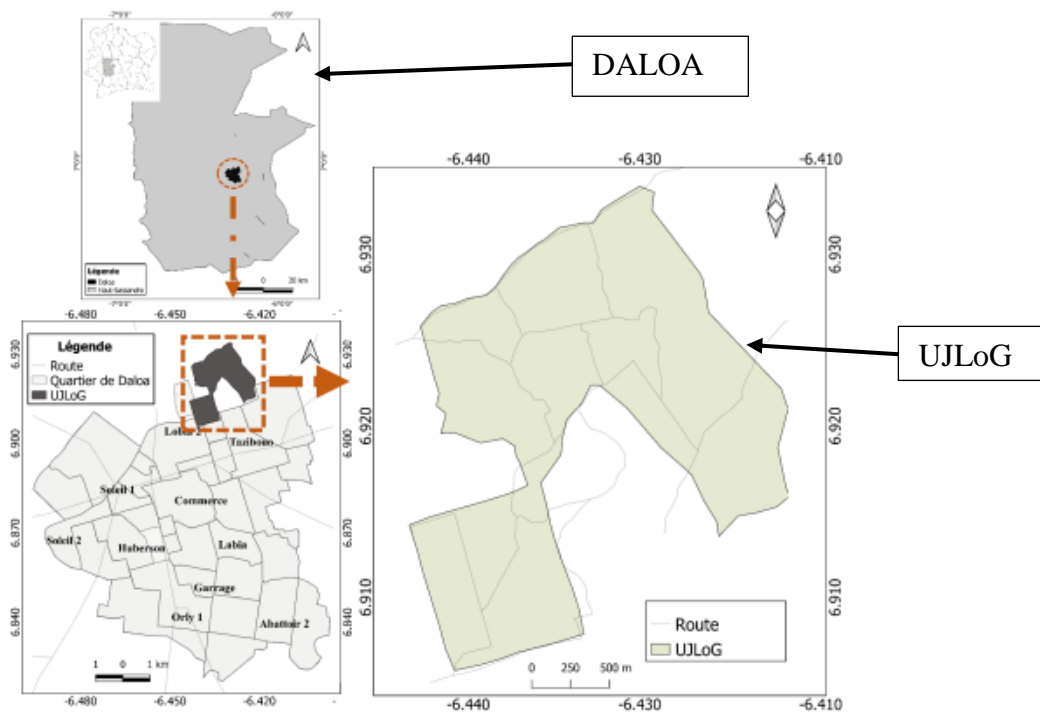


Figure 5: Carte du site d'étude

2.1.2. Climat

Le climat de la région est de type tropical à quatre saisons : la grande saison des pluies d'avril à mi-juillet, marquée par des orages, la petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre, la petite saison des pluies de mi-septembre à novembre et la grande saison sèche de décembre à mars. Ce climat conférerait aux départements une végétation homogène constituée de forêt dense et humide au sud et de savane arborée au nord. Annuellement, la température moyenne est de 25,6°C (Adjiri *et al.*, 2018)

2.1.3. Sols et hydrographie

Les sols du département de Daloa sont en général des ferralsols sur terre ferme et des gleysols dans les bas-fonds et présentant de bonnes aptitudes agricoles pour tous types de culture (Zro *et al.*, 2016). Le département est arrosé par le Sassandra et par son affluent la Lobo dont les ramifications sont le Dé et le Goré (PRICI, 2016).

2.2.MATÉRIEL ET METHODES

2.2.1. MATERIEL

L'ensemble du matériel utilisé, est constitué d'un matériel biologique et de matériel technique. Le matériel biologique comprend un matériel végétal et un matériel viral.

2.2.1.1.Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de la semence de la variété Bouaké 189 cultivées en Côte d'Ivoire. La variété de riz Bouaké 189 est une variété précoce, plastique, hautement productive ayant un bon rendement à l'usage de 73,0 % et un très bon goût. Cette variété également tolérante à la sécheresse, est cependant très sensible à la panachure jaune du riz (PPAAO, 2016)



Figure 6: Semence de la variété Bouaké 189

2.2.1.2.Matériel viral

Le matériel viral est un isolat du virus de la panachure jaune du riz (RYMV). Cet isolat a été obtenu dans un périmètre rizicole du quartier Tazibouo 2 (Daloa) sur la variété Bouaké 189 présentant les symptômes de la maladie.

2.2.1.3. Matériel technique

Afin de mener à bien notre expérimentation, nous avons utilisé un ensemble de matériel technique qui se compose comme suit de :

- une serre couverte par des moustiquaires pour protéger les plants contre les vents et limiter la présence des insectes qui sont parfois des agents de transmission du virus d'une plante à une autre ;
- des pots en plastique contenant du sol de bas-fond dans lesquels le riz a été semé ;
- un arrosoir pour l'apport d'eau quotidien;
- une balance de précision pour la pesée de fertilisant ;
- un appareil photo pour les prises de vue.
- un ruban mètre pour la mesure la hauteur des plants (du collet jusqu'à l'extrémité des feuilles).



Figure 7: Matériel technique (A) : Serre couverte par des moustiquaires ; (B) : Pots contenant du sol de bas-fond ; (C) : arrosoir

2.2.2. MÉTHODES

2.2.2.1. Prospection des bas-fonds

Une prospection a été réalisée le 11 juillet 2020 dans différents périmètres où la présence du virus a été signalée à Tazibouo 2 (Daloa) sur les variétés de riz Bouaké 189.

2.2.2.2. Prélèvement et fertilisation du sol de culture

Le sol a été prélevé dans le mois de Novembre dans un bas -fond situé à plusieurs centaines de mètres après l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG). La dose de N, P, K (12 22 22)

a été calculée puis apporté comme un engrais de fond dans les différents pots, à raison de 200 kg/ha soit 0.57g.

L'azote sous forme d'urée quant à lui, a été apporté en deux fractions. La première fraction (1/3) à 52 jours après semis (jas) et la deuxième fraction (2/3) à 63 jours après semis (montaison) à différentes doses :

- 0 kg/ha soit 0 g/pot
- 60 kg/ha soit 3,7 g/pot (dose référence)
- 90 kg/ha soit 5,43 g/pot
- 120 kg/ha soit 7,4 g/pot
- 150 kg/ha soit 9,13 g/pot

2.2.2.3. Semis du riz

Les grains de riz (Bouaké 189) ayant subi une pré-germination de 72 heures sont semés dans des pots en plastique contenant du sol de rizières fertilisé au **NPK 12 22 22** comme engrais de base. Dans chaque pot, 6 grains été semé, à raison de 2 grains par poquet.

2.2.2.4. Préparation de l'inoculum et inoculation du virus aux plantes

Les feuilles virosées sont broyées dans un mortier en ajoutant au fur et à mesure de l'eau distillée (soit une quantité de 100 mL pour 60 g de feuilles virosées).

Les plantes sont inoculées 21 jours après semis (jas). Il s'agit de tremper les doigts dans le broyat, puis frotter les feuilles, en commençant par la base jusqu'au extrémités des dernières feuilles dégainées de chaque talle (Onasanya *et al.*, 2004)



Figure 8: Préparation et inoculation du virus (A) : Inoculum ; (B) : inoculation aux plantes

2.2.2.5. Dispositif expérimental

Disposé sous un abri de 11 m² environ, le dispositif expérimental est constitué de 4 blocs totalement randomisé (3 répétitions pour les plants inoculés et une répétition pour les témoins sains) avec une randomisation complète et cinq niveaux de (05) traitements azotés (0 kg/ha ;60 kg/ha ;90 kg/ha ;120 kg/ha et 150 kg/ha). Afin d'éviter toute contamination, les différents blocs ont été séparés de 100 cm (D₁ et D₂). Dans chaque bloc, les pots sont séparés de 40 cm sur la largeur et de 20 cm sur la longueur pour faciliter le passage lors de l'arrosage et des prélèvements des données.

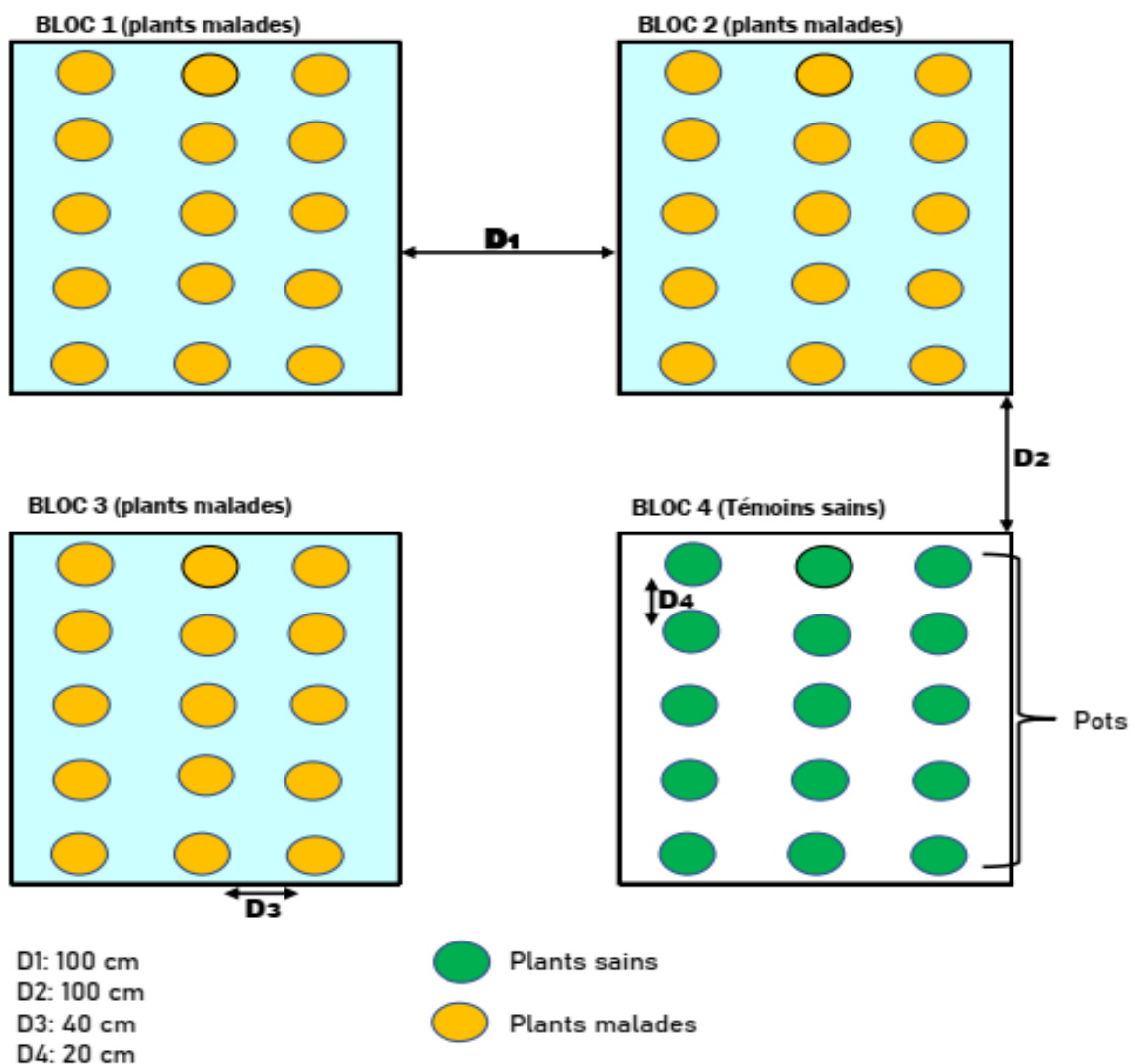


Figure 9: Dispositif expérimental

2.2.2.6. Mesure des paramètres

2.2.2.6.1. Hauteur des plants

La hauteur des plants (sains et malades) a été mesurée à différentes stades, à savoir : 14 jours après inoculation (jai), 28 jai, 42 jai et 56 jai, soit respectivement 35 jours après semis (jas), 42 jas, 56 jas et 70 jas à l'aide d'un ruban mètre en partant du collet jusqu'à l'extrémité de la feuille paniculaire. Le taux de réduction a ensuite été calculé à partir de la moyenne des hauteurs des plants sains et celle des plants malades pour chaque traitement. La formule de calcul est présentée par l'équation 1 :

$$\text{TRH (\%)} = [(\text{HPS}-\text{HPM}) \times 100] / \text{HPS} \quad (1)$$

TRH : taux de réduction de la hauteur

HPS : hauteur des plants sains

HPM : hauteur des plants de riz malade

2.2.2.6.2. Vitesse de croissance

La vitesse de croissance est évaluée pour chaque traitement à partir de la hauteur des plants, d'une date $t=0$ à une date $t=x$ comme suit (équation 2) :

$$VC (cm / j) = \frac{HP}{\Delta t} \quad (2)$$

VC : vitesse de croissance

HP : hauteur de plants

Δt : variation du temps

2.2.2.6.3. Détermination du nombre de talle

Le nombre de talle des plants inoculés et des témoins sains a été déterminé par comptage manuel à 14 jai, 28 jai, 42 jai et 56 jai

2.2.2.6.4. Vitesse de tallage

La vitesse de tallage est évaluée pour chaque traitement à partir du nombre de talle, d'une date $t=0$ à une date $t=x$ comme suit (équation 3) :

$$\text{vitesse de tallage } (T/j) = \frac{NT}{\Delta t} \quad (3)$$

NT : nombre de talle

Δt : variation du temps

2.2.2.6.5. Chlorose foliaire

A partir d'une échelle qui quantifie l'expression phénotypique de la plante de riz, nous avons donné un score défini selon une classe caractères (Tableau I). Les notations ont été faites 14 jai, 28 jai, 42 jai et 56 jai.

Tableau I: Echelle de notation de l'évolution du RYMV (Anonyme 3, 1996)

Note	Teinte foliaire
1	Verte
3	Verte/tache éparse
5	Vert léger mosaïque distincte
7	Jaunissement total
9	Orangée ou plante morte

2.2.2.7. Analyse statistique

Le traitement des données a été essentiellement basé sur l'analyse de variance au seuil de 5% de niveau de confiance, portant sur la hauteur des plants sains et malades, la vitesse de croissance, le tallage, la vitesse de tallage, la chlorose foliaire et l'épiaison.

Le logiciel STATISTICA version 7.1 a servi à l'analyse de variance et les graphiques ont été réalisés grâce au logiciel Excel (Microsoft office).

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1.RESULTATS

3.1.1. Chlorose foliaire visuelle

Les scores les plus faibles sont observés à 14 jours après inoculation (jai), correspondant à l'état des plantes sans apport d'azote. L'analyse du tableau I montre que les scores visuels attribués aux différents plants de riz ont varié selon les dates après inoculation. À 28 jai, les symptômes ont été accentués (note 7) (Tableau II). Après application de l'azote, on observe une diminution (note 5) des scores attribués aux plantes. À 56 jai, quelle que soit la dose de l'azote, à l'exception de la dose 0kg/ ha, les scores attribués diminuent davantage pour atteindre la note 3 correspondant à des feuilles totalement vertes (figure 10) suggérant une reprise totale de l'activité de la photosynthèse.

Tableau II: Effet des différentes doses d'azote sur la Chlorose foliaire

Score de la chlorose foliaire				
Dose d'azote	14 jai	28 jai	42 jai	56 jai
00 kg/ha	3	7	7	7
60 kg/ha	5	7	5	3
90 kg/ha	5	7	5	3
120 kg/ha	5	7	5	3
150 kg/ha	5	7	3	3

Jai : jour après inoculation

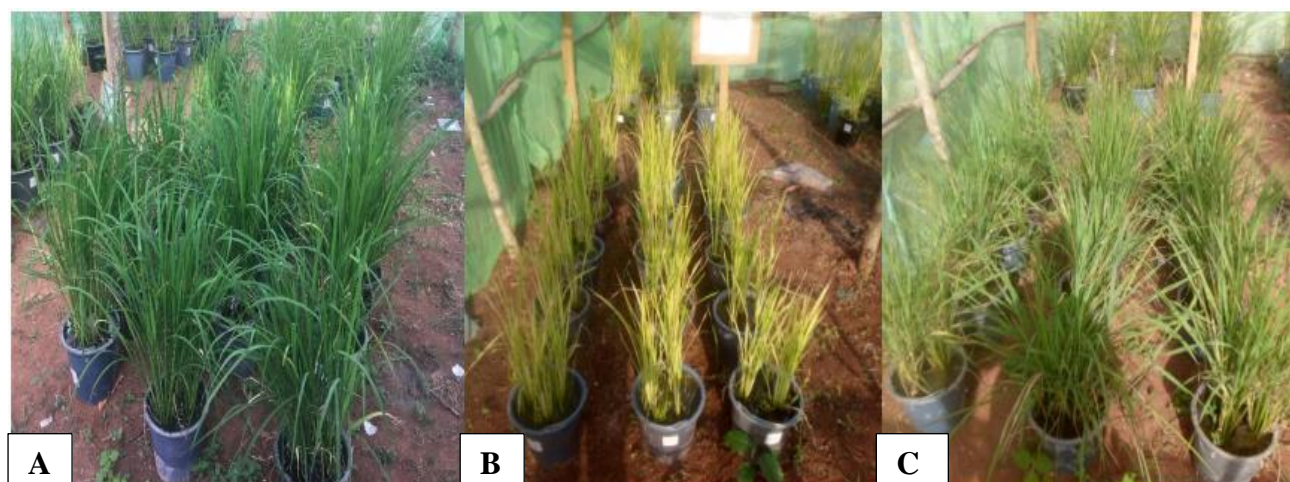


Figure 10: Évolution de la chlorose (A) : aspect des plants sains 63 jas ; (B) : aspect des plants malades à 28 jai ; (C) : aspect des plants malades à 42 jai

3.1.2. Nombre de talle

Globalement, l'analyse du tableau III montre que le nombre de talle varie en fonction de la dose d'azote. L'analyse de variance indique un effet significatif de l'azote ($P < 0,05$) sur le nombre de talles de variétés inoculées et celles non inoculées à 63 jas et 77 jas. Le nombre de talle le plus élevé chez les variétés non inoculées est observé à la dose de 120kg/ha et 150kg/ha soit en moyenne 54 talles. Une diminution importante du nombre de talle est enregistrée chez les variétés inoculées. Le nombre de talle le plus élevé est observé à la dose de 60 kg/ha correspondant à 33 et 39 respectivement à 63 Jas et 77 jas. Le nombre de talle le plus faible est observé à la dose de 0kg/ha aussi bien chez les plants inoculés que chez ceux non inoculés soit respectivement de 17,50 talles et 15,50 talles.

Tableau III: Evolution du nombre de talle en fonction de la dose d'azote

Nombre de talles après semis									
Dose d'azote	Non inoculés				Inoculés				
	35 jas	49 jas	63 jas	77 jas	14 jai	28 jai	42 jai	56 jai	
00 kg/ha	19 ^b	18 ^b	17 ^c	16 ^c	19 ^a ^b	16 ^b	15 ^c	12 ^c	
60 kg/ha	21 ^{ab}	21 ^{ab}	46 ^b	46 ^b	18 ^a ^b	17 ^b	33 ^a	39 ^a	
90 kg/ha	19 ^b	21 ^{ab}	47 ^b	47 ^b	17 ^b	17 ^b	28 ^b	36 ^{ab}	
120 kg/ha	20 ^{ab}	21 ^{ab}	52 ^{ab}	54 ^{ab}	18 ^b	19 ^{ab}	28 ^{ab}	35 ^{ab}	
150 kg/ha	24 ^a	22 ^a	54 ^a	57 ^a	18 ^b	21 ^a	29 ^{ab}	32 ^b	
Moyenne	21	21	43	42	18	18	26,6	30,8	
P	0,16	0,23	0,001	0,0001	0,94	0,055	0,001	0,001	

Sur chaque colonne pour les mêmes jours, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil 5% selon le test de Duncan. Jai : jour après inoculation

3.1.3. Evolution de la hauteur des plants inoculés et non inoculés

L'analyse du tableau IV montre que la croissance en hauteur des plants inoculés et ceux non inoculés varie avec les différentes doses d'azote. L'analyse de variance montre que l'azote a un effet significatif ($P < 0,05$) sur la hauteur des plants inoculés et ceux non inoculés. Les valeurs oscillent entre de 56,5 cm et 105 cm chez les plants non inoculés et de 53 à environ 91 cm chez les plants inoculés. Après inoculation, la taille des plants de riz a été considérablement réduite. Cependant à l'exception de la dose 0kg/ha, aucune différence significative n'est observée sur la croissance en hauteur des plants inoculé à 63 et 77 Jas. D'une manière générale, les grandes valeurs ont été enregistrées avec la dose de 60 kg/ha.

Tableau IV: Evolution de la hauteur des plants en fonction de la dose d'azote.

Hauteur des plants (cm)								
Dose d'azote	Non inoculés				Inoculés			
	35 jas	49 jas	63 jas	77 jas	14 jai	28 jai	42 jai	56 jai
00 kg/ha	57,50 ^a	61,17 ^a	62,16 ^b	65,00 ^c	56,22 ^a	56,72 ^a	57,06 ^b	57,16 ^b
60 kg/ha	59,33 ^a	61,33 ^a	92,83 ^a	99,16 ^a	56,83 ^a	57,83 ^a	67,61 ^a	69,94 ^a
90 kg/ha	58,67 ^a	59,83 ^a	89,00 ^a	95,16 ^{ab}	56,33 ^a	57,00 ^a	70,33 ^a	72,77 ^a
120 kg/ha	58,17 ^a	59,66 ^a	89,83 ^a	92,83 ^{ab}	56,17 ^a	56,72 ^a	71,00 ^a	72,72 ^a
150 kg/ha	59,17 ^a	59,83 ^a	87,16 ^a	91,16 ^b	56,44 ^a	57,61 ^a	68,33 ^a	72,50 ^a
P	0,32	0,63	0,000043	0,000006	0,78	0,33	0,000001	0

Sur chaque colonne pour les mêmes jours, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil 5% selon le test de Duncan. Jai : jour après inoculation

3.1.4. Impact de l'azote sur le taux de réduction de hauteur

Le taux de réduction de la hauteur des plants varie en fonction des doses d'azote. L'analyse de variance indique un effet significatif ($P < 0,05$) de l'azote sur la réduction de hauteur. Les taux de réduction les plus importants soit en moyenne 28% sont observés chez la variété de riz Bouaké 189 traduisant un niveau de sensibilité accru à la maladie pour un niveau de fertilisation de 60kg/ha. En l'absence de fertilisation (0kg/ha), le taux de réduction reste relativement faible pour toutes les dates de mesure. Aucun effet significatif de l'azote ($P > 0,05$) n'est constaté au 14 et 28 jai.

Tableau V: Impact du RYMV sur le taux de réduction de la hauteur (%) à différentes doses de N

Taux de réduction de la hauteur (%)				
Dose d'azote	14 jai	28 jai	42 jai	56 jai
00 kg/ha	2,22 ^b	5,99 ^a	8,20 ^c	12,10 ^c
60 kg/ha	4,21 ^{ab}	5,68 ^{ab}	26,88 ^a	29,31 ^a
90 kg/ha	3,94 ^{ab}	4,64 ^{ab}	20,90 ^{ab}	23,33 ^{ab}
120 kg/ha	3,43 ^{ab}	4,92 ^{ab}	21,02 ^{ab}	21,68 ^{ab}
150 kg/ha	4,60 ^a	3,71 ^b	21,46 ^b	20,46 ^b
Moyenne	4	4,99	19,69	21,37
P	0,08	0,24	0,000001	0,000033

Sur chaque colonne pour les mêmes jours, les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil 5% selon le test de Duncan. Jai : jour après inoculation.

3.1.5. Vitesse de croissance

Le graphe ci-dessous (Figure 11) montre la vitesse quotidienne à laquelle les plants ont cru. À 14 jai et à 28 jai, la vitesse de croissance des plants connaît une baisse tant chez les plants sains que malades. À partir de 42 jai nous avons une augmentation de la vitesse de croissance au niveau des plants non inoculés. Chez les plants inoculés également, nous assistons à une augmentation de la vitesse de croissance mais moins importantes par rapport aux plants sains. Cette vitesse de croissance va baisser pour l'ensemble des plants, vers le 56 jai.

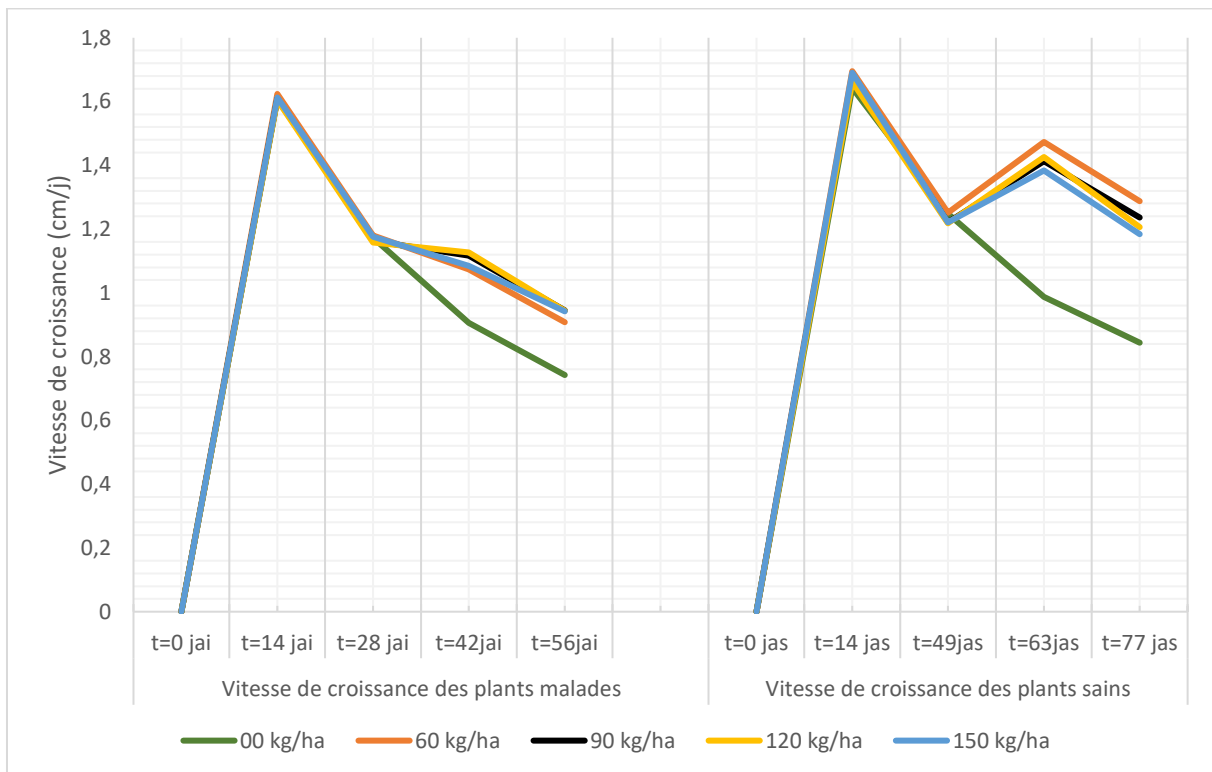


Figure 11: Evolution de la vitesse de croissance e fonction des doses d'azote

t= temps

jai= jours après inoculation

jas= jours après semis

3.1.6. Vitesse de tallage

La courbe ci-dessous (figure 12), montre la vitesse à laquelle les talles se forment, au niveau des plants inoculés et non inoculés et en fonction de la dose d'azote apportée. À partir de 14 jai, la vitesse de tallage va baisser jusqu'à 28 jai tant au niveau des plants sains qu'inoculés par le virus. Après avoir apporté les différentes doses d'azote, nous constatons à 42 jai une hausse

de cette vitesse chez les plants non chez les non inoculés. Alors que pour les plants de 0 kg/ha la courbe décroît graduellement. La vitesse de tallage des plants sains est au-dessus de celle des plants malades. À 56 jai nous avons encore une baisse de la vitesse quel que soit la dose d'azote apportée.

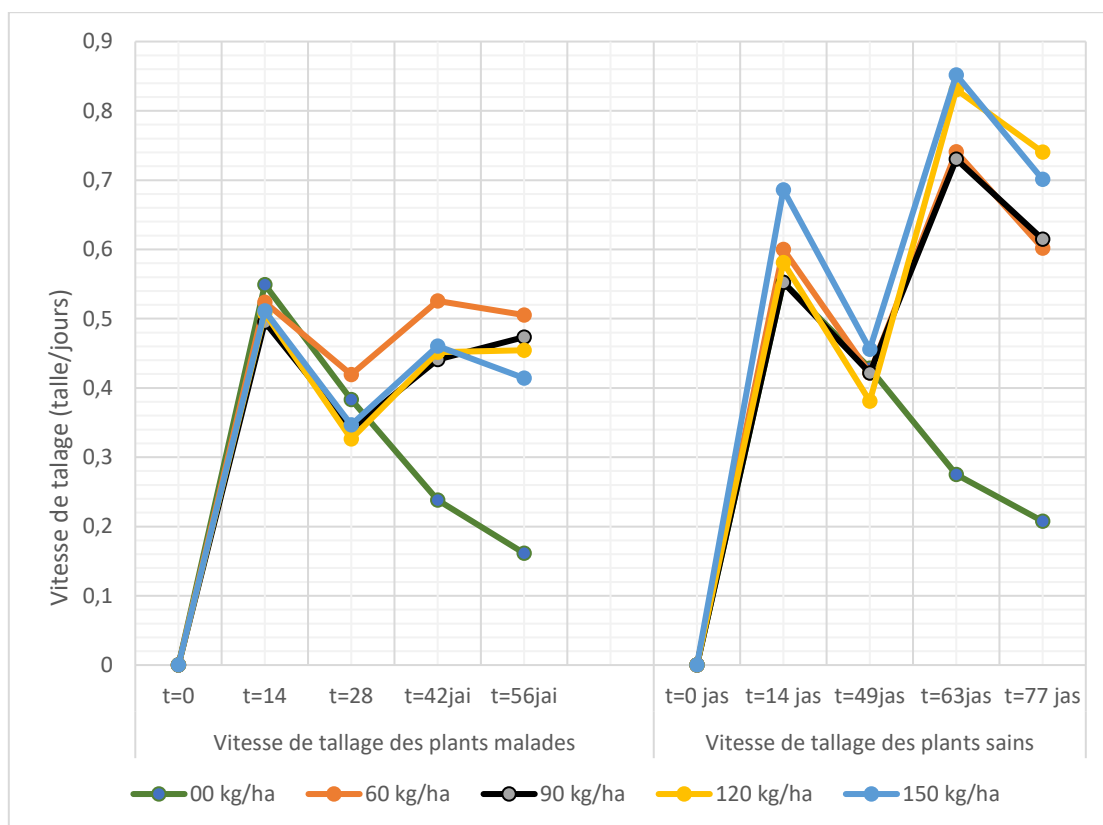


Figure 12: Evolution de la vitesse de tallage en fonction de la dose d'azote.

t= temps

jai= jours après inoculation

jas= jours après semis

3.2. Discussion

Ce travail a été conduit dans un contexte de lutte intégrée contre la panachure jaune du riz dans la localité de Daloa. Ainsi, l'effet de différentes doses d'azote a été évalué sur le niveau de résistances de la variété Bouaké 189 connue comme témoin de sensibilité à cette pathologie. Il ressort que la fertilisation azotée affecte l'expression de la chlorose foliaire. Elle est d'autant plus grande que le substrat de culture ne contient pas d'azote. L'azote est le nutriment le plus important pour la croissance des plantes et il existe une littérature abondante sur l'effet de N sur les maladies, car son rôle dans la résistance aux maladies est assez facilement démontré (Huber & Watson 1974 ; Engelhard 1989 ; Marschner 1995).

L'utilisation des éléments minéraux dans les cultures permet d'éviter un stress à la plante, et de lui assurer une résistance solide aux pathogènes. Ces éléments minéraux doivent être manipulés à l'avantages de la plante et au désavantage du pathogène (Palti, 1997).

Globalement chez les plants inoculés et non inoculés, la sévérité de la chlorose a augmenté de 3 à 7 dans un premier temps et baissé de 7 à 1 dans un second temps. À 14 et 28 jai, l'observation visuelle a montré que les symptômes portés sur la chlorose foliaire ont été très marqués. Le pic est observé à 28 jai. Cependant après l'application de la première fraction de dose d'azote (1/3) sous forme uréique à 52 jas, la baisse de la sévérité des symptômes foliaires a été observé à 63 jas et s'est accentuée à 77 jas après l'ajout de la deuxième fraction d'azote 2/3 à 63 jas. Cette baisse de sévérité laisse supposer la mise en œuvre d'un mécanisme de résistance induit par l'application de l'azote (urée). La résistance de l'hôte aux maladies est sa capacité à limiter la pénétration, le développement et la reproduction des envahisseurs d'agents pathogènes (Graham & Webb, 1991).

L'azote est le nutriment le plus important pour la croissance des plantes, mais il a également une influence sur les maladies de nombreuses cultures (Bhaduri *et al.*, 2014). Ce n'est pas seulement la dose mais aussi la forme d'azote qui peut réduire une maladie et en favoriser une autre. Selon Huber & Graham (2002) les doses élevées de N augmentent, très souvent, la sensibilité des plantes aux pathogènes. À l'opposé, Marschner, (1995), Huber & Graham, (2002), les doses élevées de N assurent : la longévité des cellules et un renouvellement important des sucres solubles et les composés de faibles poids moléculaires tels que les acides aminés libres. Généralement, chez les virus végétaux, les doses de fertilisants favorables au développement de la plante sont également favorables à la prolifération des virus. Il y a plusieurs rapports sur l'effet de N sur le développement de la maladie qui sont incohérents et

qui se contredisent. Les véritables causes de cette incohérence sont mal comprises (Hoffland *et al.*, 2000). Ces différences peuvent être dues à la forme de nutrition azotée de l'hôte (Harrison & Shew, 2001 ; Celar, 2003), le type d'agent pathogène : parasites obligatoires ou facultatifs (Neumann *et al.*, 2004 ; Bhaduri *et al.*, 2014) ou le stade de l'application d'azote (Snoeiijers *et al.*, 2000).

Les effets de la fertilisation azotée sur la réduction de la taille des plantes due au RYMV ont été fonction de la dose de fertilisant apportée. Les travaux de Heinrichs *et al.* (2001) ont aussi révélé l'effet positif de l'azote sur le taux d'infection du riz par le virus de la panachure jaune. L'information que fournit en plus la présente étude est que l'incidence du RYMV varie avec la dose d'azote. L'analyse de variance a pu mettre en évidence une différence significative ($p < 0,05$) de l'effet de l'azote 42 jours après inoculation (jai) et 56 jai sur la taille des plants inoculés et ceux non inoculés. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Zouzou *et al.*, (2008) ; Mogga *et al.*, (2012). Selon ces auteurs, le taux de réduction de la hauteur des plants de riz sont des symptômes caractéristiques du RYMV (ZOUZOU *et al.*, 2008 ; MOGGA *et al.*, 2012). La sensibilité ou la résistance des cultivars de riz au RYMV est aussi définie par rapport à ces paramètres. La sensibilité est associée à une importante réduction de la hauteur des plants inoculés. Les taux de réduction inférieurs à 5 % sont considérés comme étant ceux de variétés résistantes, et ceux compris entre 6 et 25 % sont considérés comme ceux de variétés moyennement résistantes, puis, entre 26 et 75 %, ceux des variétés sensibles. Ainsi, les taux de réduction de la hauteur ont varié 8 % à 27 % à 42 jai et 12 % à 29 % à 56 jai. Ces taux de réduction ont montré que la variété Bouaké 189 a eu des niveaux de sensibilité ou de résistance variable en fonction de la dose d'azote apportée.

L'analyse de variance indique que l'azote a un effet significatif ($p < 0,05$) sur le nombre de talle des plants inoculés et ceux non inoculés. Le nombre de talle augmente significativement avec la dose d'azote apportée dans l'ensemble. Ces résultats sont identiques à ceux de Moro *et al.*, (2008), qui ont montré que l'ajout des 30 premiers kg / ha d'azote a entraîné une augmentation significative du nombre de talles.

Selon Ishizuka et Tanaka (1963), un tallage amélioré par une application accrue d'azote pourrait être attribué à l'augmentation de l'approvisionnement en azote pendant la phase de tallage active. Alors que Haque *et al.*, (2006) ont signalés le plus grand nombre de talles avec 120 kg ha⁻¹ de N mais était statistiquement similaire à l'application de 60 kg ha⁻¹ de N.

TROISIEME PARTIE :
CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre travail nous a permis d'évaluer le niveau de sensibilité ou de résistance de la variété Bouaké 189 en fonction de la dose d'azote. L'effet de cette virose a été observé sur la hauteur des plants, le taux de réduction de la hauteur, la chlorose foliaire visuelle. Cependant, nos évaluations faites sur les paramètres de croissance (hauteurs des plants, chlorose foliaire et tallage) ont montré que l'application de l'azote à différentes doses affecte la sensibilité de cette variété face au RYMV. En effet, la variété Bouaké 189 qui est connue pour être un témoin de sensibilité à la panachure jaune du riz, a présenté une résistance variable en fonction de la dose d'azote apportée. Ainsi, les symptômes de rabougrissement, de chlorose foliaire très prononcée qui sont les caractéristiques d'une sensibilité à ce virus, ont été influencés par l'apport d'azote. Ainsi il serait salubre de vulgariser l'utilisation de l'azote comme moyen de lutte contre la panachure jaune du riz.

Nous pouvons affirmer à la suite de nos travaux que l'azote constitue un élément nutritif pouvant aider à lutter contre le RYMV et accroître la résistance génétique des variétés sensibles.

Au regard de ces résultats, il s'avère nécessaire de :

- Mener cette expérience en plein champ en vue de prendre en compte les contraintes environnementales ;
- Étendre cette étude à d'autres variétés de riz sensibles et d'autres isolats de RYMV ;
- Promouvoir la lutte intégrée par l'utilisation de l'azote en vue d'augmenter le rendement.

REFERENCES

RÉFÉRENCES

- Abo M. E., Alegbejo, M. D. & Sy, A. A. (2004). Evidence of non-transmission of Rice yellow mottle virus (RYMV) through rice seed, *Tropicultura*, 22, 116-121.
- Abo M. E., Alegbejo, M. D. & Sy, A. A. (1998). Rice Yellow Mottle VIRUS (RYMV) in Africa : evolution, distribution, economic significance on sustainable rice production management strategies. *Journal of sustainable Agriculture*, 11 : 85-111.
- Adjiri O.A, Dibi B., Djabakaté I., Aka N. et Koné B., (2018). Caractérisation physico-chimique et source de la minéralisation des eaux souterraines des départements de Daloa et Zoukougbeu, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(4) : 2388-2401.
- ADRAO (1995). Le plant de riz et son environnement. Guide de formation 34p.
- Akakpo A.D.R., (2011). Caractérisation agro-morphologique des écotypes de riz (*oryza spp.*) du Benin. Mémoire soutenu à Université d'Abomey-Calavi - Ingénieur agronome. Disponible en ligne : <https://www.memoireonline.com> consulté le 19/12/20.
- Allarangaye M. D., Traore O., Traore E. V. S., Millogo R. J., Guinko S. & Konate G. (2007). Host range of Rice yellow mottle virus in Sudano-Sahelian savannahs. *Pakistan Journal of Biology and Science*, 10, 1414-142
- Allarangaye, M., Traoré, O., Traoré, E., Millogo, R., Konaté, G. (2006). Evidence of nontransmission of Rice yellow mottle virus through seeds of wild host species. *Journal of Plant Pathology* 88, 307-313
- Anonyme 1, FAO (1994). Le riz dans la nutrition humaine
- Anonyme 2, FAO Statistical Database : 2009 : Food and Agriculture Organization of the United Nations : Rome, Italy. Available online : <http://faostat.fao.org> consulté le 19/12/2020.
- Anonyme 3. (1996). Standard Evaluation System for rice. IRRI et INGER, 4th eds. 52 p.
- Awoderu V.A., (1991). Rice yellow mottle virus West Africa. *Tropical pest management*, 37:356-362.
- Bakker W., (1974). Characterization and ecological aspects of rice yellow mottle virus in Kenya. Ph.D. thesis. Agricultural University. Wageningen, Netherlands 829 : 152

- Bezançon G. et Diallo S., (2006). *Oryza glaberrima* Steud. Fiche de Protabase. Éd. Brink M. & Belay G. PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays-Bas. <http://database.prota.org/recherche.htm>. Consulté le 21/12/2020.
- Bonman J., (1992). Durable resistance to rice blast disease-environmental influences. *Euphytica*, 63, 115– 123p.
- Bonneau, C., Brugidou, C., Chen, L., Beachy, R. N., Fauquet, C. M. (1998). Expression of the rice yellow mottle virus P1 protein in vitro and in vivo and its involvement in virus spread. *Virology* 244, 79-86
- Bonson B. (2012). Rapport « Etat des lieux de la filière rizicole » 9p.
- Bhaduri D., Rakshit R. and Chakraborty K., (2014). Primary and Secondary Nutrients-a Boon to Defense System against Plant Diseases. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* 5(3) : 461 – 466.
- Brugidou C., Holt C., Ngon A. Y. M., Zhang S., Beachy R. N. & Fauquet, C. M. (1995). Synthesis of an infectious full-length cDNA clone of Rice yellow mottle virus and mutagenesis of the coat protein. *Virology*, 206, 108-115.
- Calvert, L. A., Koganezawa, H., Fargette, D. & Konate, G. (2003). Virus and virus-like diseases of major crops in developing countries. In G. T. G. Loebenstein (Eds), *Rice* (pp. 269-294). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Celar F. (2003). Competition for ammonium and nitrate forms of nitrogen between some phytopathogenic and antagonistic soil fungi. *Journal of Biological Control* 28 : 19-24.
- Chandra D., et Mishra P., (1991). Effect of different level of nitrogen, phosphorus and potassium application on grain and milling yield of Gayari rice (*Oryza sativa* L.). *Ind. J. Agri. Sci.*, 61 : 496-498.
- Chandraratna M.F., (1964). Genetics and breeding of rice. Thèse de Doctorat Longmans, London UK, 389p.
- Courtois B., (2007). Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique. Cirad, France, 13 p.

- Datnoff L.E., Elmer W., Huber D.M., (2007). Mineral nutrition and plant disease. APS Press, the American phytopathological society. St Paul, Minnesota, U.S.A 278 p.
- DORDAS C., (2008). Controlling plant diseases in sustainable agriculture. *Phytopathologie*, 28 :33-46.
- Fauquet C. & Thouvenel J.C. (1977). Isolation of the Rice yellow mottle virus in Ivory Coast. *Plant Dis Rep.* 61(6) : 443-446.
- Fauquet, C., Thouvenel, J. C. (1987). "Maladies virales des plantes en Côte d'Ivoire." Initiations-documentations techniques. Editions de l'ORSTOM, Bondy.
- Fargette D., Pinel A., Abubakar Z., Traoré O., Brugidou C., Fatogoma S., Hébrard E., Choisy M., Séré Y., Fauquet C. & Konaté G., (2004). Inferring the evolutionary history of rice yellow mottle virus from genomic, phylogenetic, and phylogeographic studies. *J Virol* 78, 3252-3261.
- Glazmann J. C., (1987). Isozyme and classification of asian rice varieties. *Theor. Appl. Genet.*,74, 21 - 30.
- Graham D.R., Webb M.J., (1991). Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants, in : Mortvedt J.J., Cox F.R., Shuman L.M., Welch R.M. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*, 2nd ed., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, pp. 329–370.
- Haque, K.M.S., Khaliq, Q.A. and Aktar, J. 2006. Effect of nitrogen on phenology, light interception and growth in Aromatic Rice. *International Journal of Sustainable Crop Production* 1(2): 01-06.
- Harrison U.J. and Shew H.D. (2001). Effects of soil pH and nitrogen fertility on the population dynamics of *Thielaviopsis basicola*. *Journal of Plant Soil* 228 : 147–155.
- Hebrard, E., Pinel-Galzi, A., Bersoult, A., Sire, C. & Fargette, D. (2006). Emergence of a resistance-breaking isolate of Rice yellow mottle virus during serial inoculations is due to a single substitution in the genome-linked viral protein VPg. *Journal of General Virology*, 87, 1369-1373.
- Heinrichs AE, Sy AA, Akator KS, Oyediran I. 2001. Seasonal occurrence of rice Yellow Mottle Virus on the WARDA research farm. In *Economic Importance, Diagnosis and*

- Management, Sy AA, Hughes J, Diallo A (eds). WARDA: M'bé, Bouaké, Côte d'Ivoire; 59-63
- Hoffland E., Jegger M.J. and Van Beusichem M.L. (2000). Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. *Journal of Plant Soil* 218 : 239–247.
- Hull, R. & Fargette, D. (2005). Sobemovirus. In C. Fauquet, M. A. Mayo, J. Maniloff, U. Desselberger & L. A. Ball (Eds). *Virus Taxonomy : Eighth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses* (pp. 885-890). San Diego, CA : Elsevier Academic Press. London.
- Hull, R. (1988). The sobemovirus group. In : R. Koenig (Ed). *The Plant Viruses : Polyhedral Virions with Monopartite RNA Genomes* (pp. 113-146). Plenum Press, New York.
- Huber D.M., Watson R.D. (1974). Nitrogen form and plant disease. *Ann. Rev. Phytopathol.* 12, 139–165.
- Huber D.M. et Graham R.D., (2002). The role of nutrient in crop resistance and tolerance to diseases. In : *Mineral nutrition of crop* :169-204.
- Huber D.M. and HANEKLAUSS, (2007). Managing nutrient to control plant disease. *Landbauforschung Volkenrode* 47 :4 :313-322
- Huber D.M. et Thompson I.A., (2007). Nitrogen and plant disease. In : Datnoff, Elmer and Huber (eds.). 2007. *Mineral nutrition and plant disease*. APS Press, St Paul, MN :31-44.
- Huber D.M. et Watson R.D., (1974). Nitrogen nutrient to control plant disease. *Landbauforschung Volkenrode* 57 :4 :313-322.
- International Rice Research Institute (IRRI), (2002). *Standard evaluation system for rice (SES)*. Manila, Philippines, 56 p
- International Rice Research Institute (2005) *Wild rice taxonomy*.<http://www.knowledgebank.irri.org/wildRiceTaxonomy>, consulté le 19/12/2020
- Ioannidou, D., Lett, J. M., Pinel, A., Assigbetse, K., Brugidou, C., Ghesquiere, A., Nicole, M., and Fargette, D., (2000). Partial resistance to rice yellow mottle virus in *Oryza sativa japonica* subspecies is associated with delayed virus accession in the vascular system. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 57 :177-188.

- Ishizuka, Y. & Tanaka, A. 1963. Studies on nutriaphysiology of rice plant. Yokendo, Tokyo
- Khush G.S., (1987). Rice breeding : past, present, and future. J. Genet, 66 (3) :195-216.
- Konate, G., Sara, S., & Traore, O. (2001). Rice yellow mottle is seed-borne but not seed transmitted in rice seeds. European Journal of Plant Pathology, 107, 361-364.
- Konate, G., Traore O., & Coulibaly M. M. (1997). Characterization of rice yellow mottle virus isolates in sudano-sahelian areas. Archive of Virology, 142, 1117-1124
- Kouassi N. K., N'Guessan P., Albar L., Fauquet C. M., Brugidou C., (2005). Distribution and Characterization of Rice yellow mottle virus : A Threat to African Farmers. Plant Dis. 89 : 124-133.
- Kouassi N. K., Chen L., Sire C., Bangratz-Reyser M., Beachy R. N., Fauquet C.M. & Brugidou C., (2006). Expression of rice yellow mottle virus coat protein enhances virus infection in transgenic plants. Archive of Virology, 151, 2111-2122.
- Legnani R., Gebre-selassie K., Nono wondim R., Ggnalon P., Morotti A., Laterot H. et Marchoux G., (1995). Evaluation an inheritance of the *Lycopersicum hirsutum* resistance against potato virus Y. Euphytica, 86 : 31-36
- Lacharme M., (2001). Le plant de riz : Données morphologiques et cycle de la plante. Manuel technique. 22p.
- Leung H., Zhu Y., Revilla-Molina I., Fan J., Chen H., Pangga I., Verra-Cruz C. & Mew T., (2003). Using genetic diversity to achieve sustainable rice disease management. Plant Disease, 87, 1156-116
- Ling, R., Pate, A. E., Carr, J. P. & Firth, A. E. (2013). "An Essential Fifth Coding ORF in the Sobemoviruses." Virology, 446, 397-408.
- Mamadou M. C., (1999). Etude de la résistance du riz (*Oryza sativa*) au virus de la panachure jaune du riz (RYMV). Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, facultés des sciences et techniques, Burkina Faso, 137p
- Mansour, A. N., and Baillis, K. W., (1994). Serological relationship among rice yellow mottle virus. Ann. Appl. Biol. 125 :133-140.
- Marschner H., (1995). Mineral nutrition of higher Plants. 2nd Edition. Academic Press. London. 889 p.

- Matthew A. C., Heather A. F., & Pamela C. R. (2002). Engineering pathogen resistance in crop plants. *Transgenic Research*, 11, 599-613.
- Meyer S, Reeb C, Bosdeveix R, (2008). *Botanique, biologie et physiologie végétale*, 2ème éd. Paris, Maloine. 490.
- Mogga M.L., Lamo J., Assea G., Gibson P. et Edema (2012). Reaction of rice cultivars to virulent rice yellow mottle virus strain Uganda. *African crop Science Journal* 20 :51-57.
- Nair S., Savithri, H. S. (2010). Processing of SeMV polyproteins revisited. *Virology* 396, 106–117. Doi : 10.1016/j.virol.2009.09.02.
- Neumann S., Paveley N.D., Beed F.D. and Sylvester-Bradley R., (2004). Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* epidemics in winter wheat. *Plant Pathology* 53 : 725– 732.
- Ngaresseum D.K.T., (2009). Evolution de la production et des importations de riz en Côte d'Ivoire de 1965 à 2008, 08/2009 BUDEP. 29p
- Ndjiondjop M.N., Brugidou C., Zang, S., Fargette D., Ghesquière A. and Fauquet C., (2001). High resistance to rice yellow mottle virus in two cultivated rice cultivars is correlated with failure of cell to cell movement. *Physiol. Mol. Plant Path.* 59 : 309-316
- Palti J., (1997). Effect of cultivation practices and cropping system on soilborne diseases. In: Hillock R.J., Waller J.M. (eds) *soilborne and disease of tropical crop*. CAB International, walling ford, UK: 377-396.
- Pinel-Galzi A., Rakotomala M., Sangu E., Sorho F., Kanyeka Z., Traoré O., Séréme D., Poulicard N., Rabenantoandro Y., Séré Y., Konaté G., Ghesquière A., Hébrard E., Fargette D., (2007). Theme of variations in the evolutionary pathways to virulence of an RNA plant virus species. *Plos Pathogens* 3, e 180.
- Pinto Y., Rossan, A. & Baulcombe D. (1999). Resistance to Rice yellow mottle virus (RYMV) in cultivated African rice varieties containing RYMV transgenes. *Nature Biotechnology*, 17, 702-707
- Poulicard N., Pinel-Galzi A., Hébrard E., Fargette D., (2010). Why Rice yellow mottle virus, a rapidly evolving RNA plant virus, is not efficient at breaking *rymv1-2* resistance.

Mol Plant Pathol., 11 : 145-154. DOI : <http://dx.doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00582.x>

- Poulicard N., Pinel-Galzi A., Fargette D., & Hebrard E., (2014). Alternative mutational pathways, outside the VPg, of Rice yellow mottle virus to overcome eIF(iso)4G mediated rice resistance under strong genetic constraints. *J. Gen. Virol.* 95 :219-224.
- Poulicard N., Pinel-Galzi A., Traore O., Vignols F., Ghesquiere, A., Konate, G., Hebrard E., and Fargette D. (2012). Historical contingencies modulate the adaptability of Rice yellow mottle virus. *PLoS Pathog.* 8 : e1002482
- Raymundo S.A. & Budden-haggen I.W., (1976). A Rice yellow mottle virus disease in West Africa. *International Rice commission Newsletter* 29 : 51-53.
- Sarra S. & Peters D., (2003). Rice yellow mottle virus is transmitted by cows, donkeys, and grass rats in irrigated rice crops. *Plant Disease*, 87, 804-808.
- Sarra S., Oevering P., Guindo S. & Peters D., (2004). Wind-mediated spread of Rice yellow mottle virus (RYMV) in irrigated rice crops. *Plant Pathology*, 53, 148-153.
- 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.
- Sire C., Bangratz-Reyser M., Fargette D. and Brugidou, C. (2008). “Genetic Diversity and Silencing Suppression Effects of Rice Yellow Mottle Virus and the P1 Protein.” *Virology Journal*, 5, 55.
- Snoeiijers S.S., Perez-Garcia A., Joosten M. and De Wit P. (2000). The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology* 106 : 493 – 506.
- Sõmera M., Sarmiento C., & Truve E., (2015). Overview on sobemoviruses and a proposal for the creation of the family Sobemoviridae. *Viruses* 7, 3076–3115.
- Sorho F., Pinel A., Traoré A., Bersoult A., Ghesquiere A., Herbrad E., Konaté G., Seré Y. & Fargette D., (2005). Durability of natural and transgenic resistances in rice to Rice yellow mottle virus. *Eur. J. Plant Pathology* 112: 349-359.

- Sy A.A., & Sere Y., (2001). Genetic diversity of major varieties under sahelian ecology system : strategic adjustment for Rice yellow mottle virus (RYMV). In : Sy A. A. ; Hughes J. ; Dialo A., (Ed.), Rice yellow mottle virus (RYMV) Economic importance, Diagnosis and management strategies. WARDA, Bouake, Côte d'Ivoire ; 18-22 September 1995.
- Tai T. H., Dahlbeck D., Clark E. T., Gajiwala P., Pasion R. & Whalen M. C. (1999). Expression of the Bs2 pepper gene confers resistance to bacterial spot disease in tomato. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96, 14153-14158.
- Traore, O., Pinel, A., Hebrard, E., Gumedzoe, M. Y. D., Fargette, D., Traore, A. S. & Konate, G. (2006). Occurrence of resistance-breaking isolates of Rice yellow mottle virus in West and Central Africa. Plant Disease, 90, 259-263.
- Traoré, M., Traoré, V., Galzi-Pinel, A., Fargette, D., Konaté, G., Traoré, A., (2008). Abiotic transmission of Rice yellow mottle virus through soil and contact between plants. Pakistan Journal Biology Sciences 11, 900-904.
- Traore O., Pinel-Galzi A., Issaka S., Poulicard N., Aribi J., Ake S., Ghesquière A., Séré Y., Konate G., Hebrard E. & Fargette, D., (2010). The adaptation of Rice yellow mottle virus to the Eif (iso) 4G-mediated rice resistance. Virology, 408, 103-108.
- USDA (2009). Rough rice production by country and geographical region, 1960/61-2008/09, IRRI World Rice Statistics.
- Voinnet O., Pinto Y.M., Baulcombe D.C., (1999). Suppression of gene silencing : A general strategy used by diverse DNA and RNA viruses of plants. Proceedings of the National Academy of Sciences 96 : 14147-14152.
- Walters D.R., et Bingham I.J., (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens : implications for plant disease control. Annual App. Biol., 151 :307-324
- Wang X, Sun C, Cai H, Zhang J (1999). Origin of the Chinese cultivated rice. Chinese Science Bulletin, 44(4) :295-304

- Wopereis M.C.S., Defoer T., Idinoba P., Diaek S., Dugué S.M.J. (2008a). Reference 8 :
Connaissance de la plante de riz. Curriculum APRA-GIR : Manuel technique. 35p
- Zouzou M., Kouakou T.H., Kone M., Issaka S., (2008). L Screening rice (*Oryza sativa*)
varieties for resistance to rice yellow mottle virus. Scientific Research and Essay,
3(9) :416-424.
- Zro F.G.B., Guéi A.M, Nangah Y.K, Soro D. and Bakayoko S. (2016). Statistical approach to
the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Côte
d'Ivoire). African Journal of Soil Science, 4 (4) : 328-338.

ANNEXES

Annexe 1 : Tableaux d'analyse de variance taux de réduction de la hauteur des plantes en fonction de la dose d'azote.

Tests Univariés de Significativité pour TR 14 Jai (Maria)					
Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
Effet	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. origine	610,2025	1	610,2025	180,0404	0,000000
Dose	30,5254	4	7,6314	2,2516	0,080531
Erreur	135,5702	40	3,3893		

Tests Univariés de Significativité pour TR 28 Jai (Maria)					
Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
Effet	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. origine	1119,751	1	1119,751	217,1675	0,000000
Dose	29,103	4	7,276	1,4111	0,247850
Erreur	206,247	40	5,156		

Tests Univariés de Significativité pour TR (Maria)					
Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
Effet	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. origine	17452,53	1	17452,53	524,7409	0,000000
Dose	1710,41	4	427,60	12,8566	0,000001
Erreur	1330,37	40	33,26		

Tests Univariés de Significativité pour TRH 56 (Mari)					
Paramétrisation sigma-restreinte					
Décomposition efficace de l'hypothèse					
Effet	SC	Degr. de Liberté	MC	F	p
ord. origine	20558,48	1	20558,48	524,4040	0,000000
Dose	1382,92	4	345,73	8,8188	0,000033
Erreur	1568,14	40	39,20		

RESUME

Le virus de la panachure jaune du riz (RYMV) est un phytopathogène causé par un sobémovirus responsable de pertes importantes de la production. Ce travail s'inscrit dans un contexte de lutte intégrée contre cette affection par l'évaluation des effets de l'azote à différentes doses sur les paramètres de croissance (tallage, chlorose foliaire, hauteur des plants) sur les plants de riz sains et malades. Les résultats ont montré que l'intensité de la chlorose foliaire diminue en passant du jaunissement total (note 7) à un reverdissement des feuilles (note 3) quelle que soit la dose d'azote. L'analyse de variance indique que l'azote a eu un effet significatif ($p < 0,05$) sur la hauteur et le tallage.

Ces résultats suggèrent que l'azote affecte le niveau de sensibilité de la variété Bouaké 189 pourrait être utilisé comme une approche de lutte intégrée.

Mots clés : RYMV, azote, lutte intégrée, sensibilité.

ABSTRACT

The rice yellow mottle virus (RYMV) is a phytopathology caused by a sobemovirus responsible for significant losses of production. This work is part of the integrated pest management context for this disease by evaluating the effects of nitrogen at different doses on growth parameters (tillering, leaf chlorosis, plant height) on healthy and diseased rice plants. The results showed that the intensity of leaf chlorosis decreases from total yellowing (note 7) to greening of the leaves (note 3) regardless of the nitrogen dose. Analysis of variance indicates that nitrogen had a significant effect ($p < 0.05$) on height and tillering.

These results suggest that nitrogen affects the susceptibility level of the variety Bouaké 189 could be used as an integrated pest management approach.

Keywords : RYMV, nitrogen, integrated pest management, sensitivity.