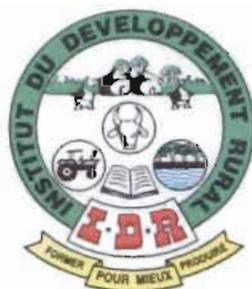


BURKINA FASO
Unité- Progrès- Justice

Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation

Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB)

Institut du Développement Rural (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Pour l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : VULGARISATION AGRICOLE

THEME :

**ASPECTS EPIDEMIOLOGIQUES DU VIRUS DE LA PANACHURE
JAUNE DU RIZ DANS LES PLAINES RIZICOLES DE BANZON ET
DE LA VALLEE DU KOU ET CRIBLAGE DE VARIETES DE RIZ
VIS-A-VIS DE CE PATHOGENE**

Présenté par Mlle SANON O. Mireille Amandine

Maître de Stage:

Dr Drissa SEREME

Directeur de Mémoire

Pr Irénée SOMDA

Mars 2016

TABLE DES MATIERES

	Pages
<i>DEDICACE</i>	iv
REMERCIEMENTS	v
ABSTRACT	vii
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIER CHAPITRE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE I.	3
I.1. Origine et taxonomie du riz	4
I.2. Importance du riz.....	6
I.3. Exigences écologiques du riz	6
I.4. Modes de culture du riz	7
I.4.1. Riziculture pluviale stricte	7
I.4.2. Riziculture de bas fond	7
I.4.3. Riziculture irriguée avec maîtrise totale de l'eau	7
I.5. Contraintes de la riziculture.....	8
I.5.1. Contraintes climatiques.....	8
I.5.2. Contraintes socio-économiques	8
I.5.3. Contraintes abiotiques.....	8
□ Contraintes chimiques	9
I.5.4. Contraintes biotiques.....	9
I.6. Principales maladies virales du riz	10
II. La panachure jaune du riz.....	12
II.1. Origine de la maladie	12
II.2. Distribution géographique de la maladie.....	12
II.3. Virus de la panachure jaune du riz	14
II.3.1. Généralités sur le virus	14
II.3.1.1. Symptômes de la maladie	14
II.3.1.2. Caractéristiques structurales et biochimiques du RYMV	16
II.3.1.3. Propriétés biologiques et biophysiques du RYMV.....	17
II.3.2. Épidémiologie du RYMV	17
II.3.2.1. Sources du RYMV	17

II.3.2.1.1. Plantes hôtes du RYMV	17
II.3.2.1.2. Autres sources du RYMV	18
II.3.2.2. Variabilité moléculaire.....	18
II.3.2.3. Modes de transmission de la maladie	20
II.3.2.3.1. Transmission mécanique	20
II.3.2.3.2. Transmission par insecte	20
II.3.2.3.3. Transmission par les mammifères.....	21
II.3.2.3.4. Transmission par le vent	21
II.3.2.3.5. Transmission par l'eau d'irrigation	22
II.3.2.3.6. Transmission à partir de certaines opérations culturales.....	22
II.3.2.3.7. Non transmission du RYMV	23
II.4. Méthodes de lutte contre la panachure jaune du riz	23
II.4.1. Pratiques culturales et lutte chimique.....	23
II.4.2. Méthodes de lutte génétique	23
II.4.2.1. Types de résistances au RYMV	23
II.4.2.2. Gènes de résistance au RYMV	24
DEUXIEME CHAPITRE : EXPERIMENTATION	27
I. Effet des dates de repiquage sur l'apparition du Rice Yellow Mottle Virus (RYMV) au champ.....	28
I.1. Matériel et Méthodes.....	28
I.1.1. Matériel	28
I.1.1.1. Localisation des zones d'étude.....	28
I.1.1.2. Le climat.....	29
I.1.1.3. Les sols	30
I.1.1.4. L'hydrographie.....	30
I.1.2. Méthodologie	30
I.1.2.1. Conduite et collecte des données	30
I.1.2.2. Analyse des données	31
I.2. Résultats-Discussion.....	31
I.2.1. Résultats	31
I.2.2. Discussion	34
II. Criblage de variétés de riz vis-à-vis du RYMV	35
II.1. Matériel et méthodes	35

II.1.1. Matériel.....	35
II.1.1.1. Matériel végétal.....	35
II.1.1.2. Matériel viral en serre	36
II.1.2. Méthodologie.....	37
II.1.2.1. Conditions de l'expérimentation.....	37
II.1.2.2. Multiplication du matériel viral	37
II.1.2.3. Détermination de la concentration optimale d'inoculum.....	37
II.1.2.4. Inoculation du RYMV aux plantes	38
II.1.2.5. Identification des plantes malades	38
II.1.2.6. Détection sérologique du RYMV	39
II.1.2.6.1. ELISA.....	39
II.1.2.6.2. Principe et variante du test ELISA.....	39
II.2. Résultats-Discussion	40
II.2.1. Résultats.....	40
II.2.1.1. Evaluation du comportement des variétés de riz vis-à-vis du RYMV.....	40
II.2.1.1.1. Détermination de la concentration idéale nécessaire pour le criblage des variétés de riz	40
II.2.1.1.2. Criblage des variétés de riz vis-à-vis du RYMV.....	41
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48
ANNEXES	56

DEDICACE

A mon père, qu'il trouve en se travail un courage, une obstination ;

A ma mère, qu'elle trouve ici l'expression d'un attachement profond ;

A mes frères et à ma sœur qui m'ont toujours supportée en pareilles circonstances ;

A tous ceux qui me sont chers.

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été effectué au Burkina Faso au Laboratoire de Virologie et de Biotechnologies Végétales (LVBV) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA). Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde gratitude à plusieurs personnes et institutions sans lesquelles ce document n'aurait vu le jour.

- *Merci **Dr Oumar TRAORE**, Directeur de recherche, chef du département de production végétale du CREAM/K pour m'avoir accueilli dans votre Unité de Recherche ;*
- *Merci **Pr Irénée SOMDA**, Professeur titulaire à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, pour votre disponibilité et l'honneur que vous me faites en acceptant d'être mon Directeur de mémoire ;*
- *Recevez, **Dr Drissa SEREME**, Chargé de recherche, Directeur adjoint du LVBV, et Maître de stage, mes plus sincères remerciements pour votre grande disponibilité, votre enthousiasme, votre sens élevé de la rigueur et votre goût du travail bien fait. Trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance ;*
- *Merci aux **Doctorants Moustapha KOALA, Patrick ESSOWE et Ezéchiel TIBIRI** pour leur encouragement, leur soutien pédagogique et moral.*
- *Mes remerciements à tout le corps enseignant de **l'Institut du Développement Rural (IDR)** ;*
- *A mon père, ma mère, mes frères et ma sœur j'adresse ma profonde gratitude pour vos précieux conseils, vos encouragements. Vous m'avez chaque fois permis de rebondir dans les moments difficiles à travers votre assistance matérielle, morale et financière. C'est pour moi un agréable devoir de vous rendre ce témoignage. A papa et maman il faut au moins une vie entière pour vous remercier de tout ;*
- *Mon cousin **Alexis OUATTARA et famille**, vous avez contribué à agrémenter mes séjours à Bobo-Dioulasso. Merci pour vos nombreux conseils, et vos encouragements.*
- ***M. Zackaria BOUDA**, technicien de laboratoire, pour son assistance sur le terrain et l'ambiance qu'il a toujours fait régner au cours de ce stage ;*
- ***Aux stagiaires du Laboratoire de Virologie** pour leur assistance et leurs conseils dans mes différents travaux de recherche.*

A tous mes amis qui, chacun à sa manière, inlassablement, m'ont été d'un secours, trouvez ici l'expression des remerciements d'une vraie amitié.

Vous tous, qui avez contribué de près ou de loin, malheureusement vos noms ne figurent pas dans cette liste, loin de l'oubli, je vous rassure de ma profonde reconnaissance pour tous vos efforts déployés.

RESUME

La riziculture africaine est fortement affectée par la maladie de la panachure jaune du riz qui cause d'énormes pertes de récolte. Les dégâts sont souvent considérables et la baisse de rendement peut atteindre 90 à 100% sur des variétés sensibles. Dans le présent travail, les aspects épidémiologiques du virus de la panachure jaune du riz ont été étudiés. Une enquête a été conduite sur les périmètres rizicoles de la Vallée du Kou et de Banzon afin de déterminer l'effet des dates de semis/repiquage sur l'apparition des infections de la panachure jaune du riz au champ. Une analyse préliminaire des résultats est proposée. Ainsi, des champs ont été sélectionnés dans ces deux périmètres rizicoles et un suivi des différentes dates de repiquage a été entrepris afin de voir la présence et la propagation de la maladie dans ces champs en fonction de dates de repiquage. Nos résultats montrent que seuls les champs ayant subi un repiquage précoce présentent les symptômes du virus de la panachure jaune du riz. Ce résultat laisse entrevoir une possible exploitation de la date de semis/repiquage pour éviter ou réduire considérablement les infections au RYMV.

Aussi, une vingtaine de variétés de riz ont été évaluées par inoculation mécanique en conditions contrôlée en serre afin d'identifier et de mettre à la disposition des producteurs des géotypes résistantes et/ou tolérantes au virus de la panachure jaune du riz. Treize (13) variétés se sont révélées sensibles au RYMV, quatre (4) tolérantes et seulement quatre (4) se sont montrées résistantes. Ces variétés résistantes et tolérantes peuvent être utilisées par les producteurs dans le cadre d'une lutte intégrée contre le RYMV et par les sélectionneurs dans le développement de nouvelles variétés hybrides de riz résistantes au RYMV.

Mots clés : Epidémiologie, RYMV, repiquage, inoculation, criblage, résistance, tolérance.

ABSTRACT

The African rice-growing is strongly marked by the rice yellow mottle disease which causes important loss of crops. Damage are often significant and the fall of productivity can reach 90 to 100 percent on some sensitive varieties. In this study, the epidemiologic aspects of the rice yellow mottle virus have been studied. An inquiry have been conducted in the rice growing perimeters of the Kou Valley and Banzon to determine the effect of the dates of seedling/transplanting on the appearance of the infections of RYMV on the field. A preliminary analysis of results is proposed. So, fields have been selected in these rice growing perimeters and follow-up of the different dates of transplanting have been undertaken to see the presence and spreading of the disease in these fields taking into account these transplanting dates.

Our results show that only the fields which have been submitted to early transplanting show the rice yellow mottle virus symptoms suggesting a possible exploitation of the date of growing/transplanting to avoid or to reduce the infection of RYMV considerably.

In addition to that, a score of rice varieties have been appreciated by mechanic inoculation in controlled conditions of a greenhouse to identify and to put at the disposition of the producers resistant and/or tolerant genotypes of rice yellow mottle virus.

Thirteen (13) varieties susceptible to, four (4) are tolerant and four (4) are resistant.

These resistant and tolerant varieties can be used by the producers in the cadre of the integrate fight against RYMV and by the scientists in the development of news rice hybrid varieties resistant to RYMV.

Key words: Epidemiology, RYMV, transplanting, inoculation, screening, resistance, tolerance.

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie du riz.....	5
Figure 2 : Distribution géographique du RYMV.....	13
Figure 3 : Symptômes de panachure jaune. (A) feuille de riz saine ; (B) Chlorose totale de la feuille de riz; (C) : à gauche, des plants de riz infectés par le RYMV et à droite, des plants de riz sains. <i>Source</i> : Traoré, (2013).	15
Figure 4 : Structure de la particule virale du RYMV : A, particules du RYMV de diamètre 25 nm observées au microscope électronique après coloration à l'acétate d'uranyle (Bakker, 1974); B, structure tridimensionnelle de la particule obtenue par cristallographie aux rayons X (Qu et <i>al.</i> , 2000).....	16
Figure 5 : Distribution géographique et écologique des souches du RYMV	19
Figure 6 : Situation géographique de la région des Hauts-Bassins	29
Figure 7 : Risque d'infection du riz par RYMV en fonction de la date de repiquage	32
Figure 8 : Risque d'infection du riz par RYMV en fonction de la date de repiquage à Banzon	33
Figure 9 : Risque d'infection du riz par RYMV en fonction de la date de repiquage à la Vallée du Kou	33

Liste des tableaux

Tableau I : Liste des virus pouvant infecter le riz.....	11
Tableau II : Liste des variétés de riz utilisées	65
Tableau III : Échelle de la notation de la sévérité des symptômes.	67
Tableau IV : Réaction des variétés de riz vis-à-vis du RYMV	70
Tableau V : Comportement de différentes variétés de riz vis-à-vis du RYMV	71

SIGLES ET ABBREVIATIONS

ADRAO/WARDA	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest/ West African Rice Development Association
CNRST	Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique
DAS	<i>Double Anticorps Sandwich Direct</i>
DGPER	Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale
DO	Densité Optique
ELISA	<i>Enzyme Linked Immunosorbent Assay</i>
FAOSTAT	Food and Agricultural Organization Statistics
FKR	Farako-Bâ Riz
ICPV	International Committee on Taxonomy of Viruses
IDR	Institut du Développement Rural
IgG	Immunoglobuline Gamma
INERA	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
IRRI	International Rice Research Institute
JAI	Jour Après Inoculation
LVBV	Laboratoire de Virologie et de Biotechnologies Végétales
MASA	Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire
mn	Minute
Nbre	Nombre
NERICA	New Rice for Africa
p/v	Poids/volume
PBS-T	Phosphate Buffered Saline-Tween
PCR	Polymerase Chain Reaction

PNPP	Para-Nitrophényl Phosphate
rpm	Rotation par minute
RSNV	<i>Rice stripe necrosis virus</i> ,
RT	Rétro-transcription
RT-PCR	<i>Reverse Transcriptase-Polymerase Chain Réaction</i>
RYMV	<i>Rice yellow mottle virus</i> , <i>Sobemovirus</i>
SBMV	<i>Southern bean mosaic virus</i> , <i>Sobemovirus</i>
VDK	Vallée du Kou
VIGS	Virus Induced Genes Silencing

INTRODUCTION GENERALE

Le riz est l'une des principales cultures vivrières au monde avec une production mondiale de 699 millions de tonnes en 2010 (FAOSTAT, 2011). La répartition de cette production est inégale selon les diverses régions du globe. L'essentielle de la production est assurée par l'Asie avec 90% de la production totale. L'Afrique ne représente que 4% sur la production restante. Cependant c'est en Afrique que l'augmentation de la consommation est la plus forte en raison de l'expansion démographique et de l'urbanisation rapide au niveau du continent. En Afrique de l'Ouest, plus précisément au Burkina Faso, le riz occupe une place importante en termes de production soit la 4^{ème} position parmi les céréales cultivées au Burkina Faso. Toutefois, sur un potentiel exploitable de 500 000 ha de bas-fonds, seulement 10% sont mis en valeur. La production moyenne au cours des dix dernières années a été estimée à 116 000 tonnes de riz paddy/an soit un rendement moyen de 2,1 T/ha. Ainsi, la production moyenne ne couvre que le tiers des besoins faisant du riz la première céréale d'importation. Les importations quant à elles ont représentées en moyenne une facture de 41,6 milliards de FCFA par an entre 2005 et 2013 (INSD 2013), le riz faisant partie des habitudes alimentaires du Burkina surtout en milieu urbain. De ce fait, le riz occupe une position centrale dans le développement socio-économique du pays. Toutefois, la riziculture est confrontée à plusieurs défis qui limitent ses capacités à tirer profit de son potentiel. Parmi ces défis, s'inscrivent une faible pluviométrie, l'insuffisance des aménagements rizicoles et les problèmes phytosanitaires. Trois maladies du riz sont signalées comme les plus importantes en termes d'impact sur les rendements. Il s'agit de la bactériose du riz causée par *Xanthomonas oryzae*, la pyriculariose causée par *Magnaporthe grisea*, et la panachure jaune du riz causée par le *Rice yellow mottle virus* (RYMV) (Onasanya *et al*, 2009). Au regard de sa nature virale et de sa large distribution, la panachure jaune du riz apparaît comme la maladie du riz la plus dévastatrice tant au Burkina Faso que sur le continent africain. L'incidence de la maladie ainsi que les pertes de production peuvent être considérables, dépendant des cultivars de riz, de la date de repiquage et du type de riziculture. Elle occasionne des pertes de récolte variant entre 25 et 100% (Konaté *et al*, 1997).

Malheureusement, très peu de données existent sur l'épidémiologie du RYMV, or le développement de toute lutte efficace contre un pathogène repose sur la connaissance approfondie dudit pathogène. Aussi, les variétés résistantes mises au point jusque-là par les scientifiques n'ont pas toujours fait l'objet d'une évaluation exhaustive vis-à-vis des souches virulentes de RYMV présentes au Burkina Faso.

C'est dans ce contexte que la présente étude qui a pour thème « Aspects épidémiologiques du virus de la panachure jaune du riz dans les plaines rizicoles de Banzon et de la Vallée du kou-Criblage de variétés de riz vis-à-vis de ce pathogène » a été réalisée. Elle a pour objectifs de : (i)

étudier l'effet des dates de semis/repiquage sur l'apparition des symptômes de la panachure jaune du riz au champ et (ii) évaluer des variétés pour leur résistance/tolérance au RYMV à travers la détermination de la concentration minimale nécessaire à l'inoculation des variétés de riz.

Pour atteindre ces objectifs, notre travail a été subdivisé en deux grands points qui sont la partie revue bibliographique et la partie expérimentation. Dans la revue bibliographique, le premier chapitre est consacré aux généralités sur le riz. Le chapitre II traite des généralités sur le virus de la panachure jaune du riz.

La partie expérimentation est divisée en deux chapitres. Le chapitre I aborde l'effet des dates de repiquage sur l'infection RYMV au champ. Quant au second chapitre, il porte sur le criblage de variétés de riz vis-à-vis du RYMV.

**PREMIER CHAPITRE: REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. Généralités sur le riz et la riziculture

I.1. Origine et taxonomie du riz

Le riz est une plante annuelle appartenant à la famille des *Poaceae*, sous famille des *Oryzoideae*, tribu des *Oryzeae* et au genre *Oryza*. Sur 23 espèces de riz identifiées dans le genre *Oryza*, seules deux espèces sont cultivées dans le monde. Il s'agit de *Oryza sativa* L. originaire d'Asie et de *O. glaberrima* Steud, originaire du delta central du fleuve Niger en Afrique de l'Ouest. Ces deux espèces dériveraient d'une forme ancestrale commune. Morphologiquement peu variable et exprimant un certain nombre de défauts agronomiques majeurs (égrenage spontané, verse accusée, productivité limitée), *O. glaberrima* est à ce titre supplanté par *O. sativa*. *O. sativa* comprend trois groupes morphologiques (*indica*, *japonica* et *javanica*) qui ont rang de sous-espèces dans la classification taxonomique du riz. Mais, les recombinaisons entre variétés *japonica* et *javanica* sont plus faciles ce qui a permis de les ranger dans le même groupe génétique. Les variétés appartenant à la sous-espèce *indica* sont caractérisées par un fort tallage, des feuilles étroites, des racines fines et des grains longs et effilés. Ces variétés se rencontrent en culture aquatique dans les régions tropicales de basse altitude (inférieure à 1200 m) (Jacquot *et al.*, 1997). Les variétés de la sous-espèce *japonica* sont adaptées aux conditions de culture des régions subtropicales et tempérées et des régions tropicales (Jacquot *et al.*, 1997). Elles sont caractérisées par un tallage moyen, des feuilles et des racines fines et des grains courts et arrondis.

Sur le plan anatomique, les racines du riz sont fibreuses et portent des radicules et des poils absorbants.

Les tiges du riz sont des chaumes ronds, épais, creux et articulés. Le chaume est constitué d'une série de nœuds et d'entre-nœuds de façon alternée. A l'aisselle de chaque nœud se trouvent une feuille et un bourgeon qui peut se transformer en talle. Le dernier entre-nœud porte la panicule.

Les feuilles, constituées d'une gaine et d'un limbe prennent naissance au niveau des nœuds situés sur le chaume jamais ramifié qui se termine par l'inflorescence : la panicule. Celle-ci forme une courbe élégante d'abord érigée puis plus ou moins pendante à l'époque de maturité. Les feuilles de riz sont dépourvues de pétioles et enveloppent la tige à leur base par une gaine prolongée par le limbe dont les dimensions, la couleur et la pilosité sont des caractères. Le limbe est long, étroit, plat et le plus fréquemment pubescent chez *O. sativa*. Il est glabre chez *O. glaberrima* et plus long chez les variétés de type *indica* (30 à 50 cm de long x 1,2 à 2,5 cm de

large) que chez celles du type *japonica* (ANGLADETTE, 1966). La figure 1 illustre la morphologie et l'anatomie du plant de riz.

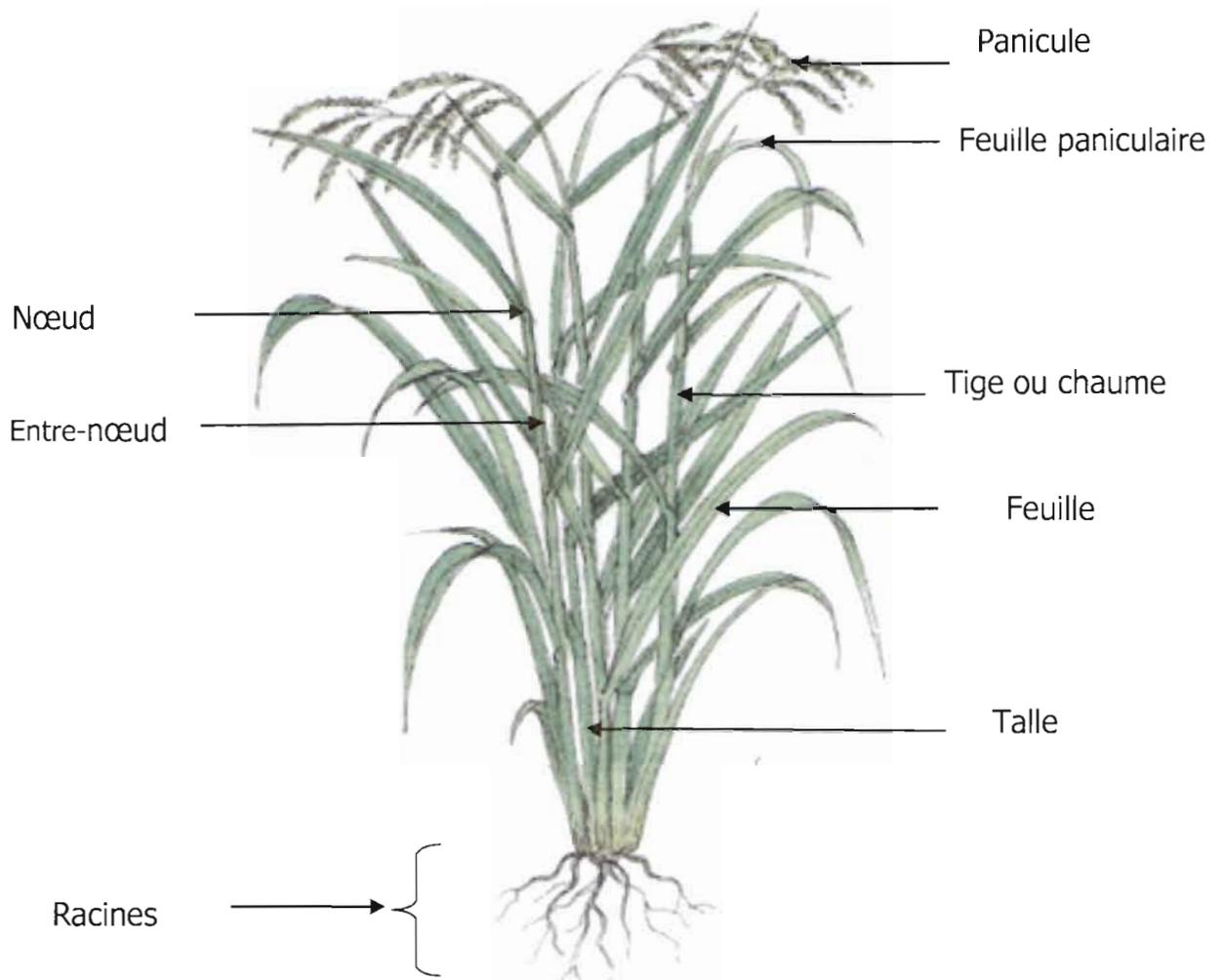


Figure 1 : Morphologie du riz ; ADRAO (2009).

I.2. Importance du riz

Le riz est principalement cultivé pour ses grains et est utilisé comme aliment de base par l'homme. Le grain obtenu directement à la récolte est le paddy qui est par la suite débarrassé des glumes et glumelles pour obtenir le riz décortiqué ou riz cargo (riz complet) (Traoré *et al.*, 2005). Il est particulièrement riche en hydrate de carbone (75%). Il contient des protéines (10%), une faible teneur en lipides (1,3%), des sels minéraux (1,2%) et des vitamines, en particulier les vitamines B et E (Anonyme, 1991). Les sous-produits de transformation sont directement utilisés dans l'alimentation animale (drèche, résidus issus de l'amidonnerie, tourteaux, etc.). La paille de riz et les repousses obtenues après la récolte sont également des sources d'alimentation pour le bétail (Thibault et Brondeau, 2001). Economiquement, le riz occupe en tant que céréale alimentaire une place importante dans les échanges nationaux, régionaux et internationaux. Le volume des échanges mondiaux pour le riz a atteint 456,3 millions de tonnes en 2011 et il a été prévu une augmentation significative de 3% en 2012 soit un surplus de 32,1 millions de tonnes (Anonyme, 2011). Au Burkina Faso, le riz occupe 3,36% des superficies cultivées en fournissant 6,52% de la production céréalière et se situe au 4^{ème} rang parmi les céréales cultivées dans ce pays (MASA, 2013). La production du riz est passée de 85090 tonnes en 2001, à 113724 tonnes en 2006, puis à 270650 tonnes en 2010 (DGPER, 2009). Actuellement, la démographie galopante et la modification des habitudes alimentaires font que le riz devient de plus en plus l'aliment de base, surtout en milieu urbain. On assiste donc à une augmentation rapide des importations pour satisfaire la demande. Avec l'urbanisation de 1960 à 2008, la consommation a évolué de 4,2 kg à 21 kg par habitant et par an atteignant jusqu'à 50 kg en ville (MASA, 2013).

I.3. Exigences écologiques du riz

Grace à sa plasticité, le riz est très tolérant en ce qui concerne les conditions édaphiques. Pour cela, il peut être cultivé sur des sols alluvionnaires, ferrallitiques, ferrugineux tropicaux et dans les zones marécageuses ou inondées seulement si le sol peut retenir et mettre à la disposition de la plante la quantité d'eau nécessaire à accomplir chaque cycle. Toutefois, le riz préfère les sols argileux, où la totale argile + limons est de l'ordre de 70% et relativement riche en matières organiques, avec un pH compris entre 6 et 8. Il exige aussi d'énormes quantités de chaleur avec un risque d'échaudage au-delà de 40°C et une baisse de rendement en deçà de 13°C (YOSHIDA, 1981). Le riz exige aussi de la lumière et surtout pour les variétés photosensibles car c'est le photopériodisme qui déclenche la floraison et influence donc la durée du cycle.

I.4. Modes de culture du riz

I.4.1. Riziculture pluviale stricte

Elle est pratiquée sur des terres où l'alimentation hydrique du riz est exclusivement assurée par les eaux de pluie sans influence de la nappe phréatique. Elle est essentiellement localisée dans le sud-ouest du pays où elle est souvent pratiquée dans des bas-fonds non inondés, et les superficies ne dépassent guère 2000 ha avec un rendement moyen de 800 kg/ha en année favorable (NACRO, 1994).

I.4.2. Riziculture de bas fond

Elle est essentiellement alimentée par les eaux de pluie et les eaux de ruissellement provenant des reliefs environnants. Des trois types de riziculture, elle est en terme de superficies emblavées, la plus importante. Elle couvre près de 70% des superficies rizicoles mais ne produit que 48% de la production du pays (INERA, 1994). La riziculture de bas fond connaît trois variantes:

- la riziculture traditionnelle sans aménagement, .
- la riziculture de bas fond avec aménagement simple,
- la riziculture de bas fond avec un aménagement amélioré.

I.4.3. Riziculture irriguée avec maîtrise totale de l'eau

La riziculture irriguée, à la différence des autres types de riziculture en Afrique de l'Ouest, est récente au Burkina Faso. En effet, elle a été introduite au Burkina Faso vers la fin des années 1960 par les chinois (NACRO, 1994). Elle constitue de nos jours le mode de production le plus performant et le plus intensif, notamment en raison de la maîtrise totale en eau de la culture. Une composante essentielle de cette intensification est l'introduction de la double riziculture. Elle est pratiquée généralement sur les plaines aménagées, le long des cours d'eau ou autour des retenues d'eau. Cependant, malgré un potentiel estimé à 165 000 ha de terres irrigables, la riziculture irriguée au Burkina Faso reste encore sous développée (NACRO, 1994). Elle couvre une superficie totale de 5350 ha soit 20,5% des superficies cultivées en riz.

La production rizicole nationale est estimée à 42,8% pour ce type de riziculture.

I.5. Contraintes de la riziculture

Les contraintes de la riziculture au Burkina Faso sont essentiellement d'ordres climatiques, socio-économiques, abiotiques et biotiques.

I.5.1. Contraintes climatiques

Le climat du Burkina Faso, est caractérisé par une longue saison sèche (7 à 8 mois) et une courte saison humide (4 à 5 mois). La mauvaise répartition spatio-temporelle et parfois l'insuffisance de la pluviométrie ont eu pour conséquence, l'abandon progressif de certains bas-fonds traditionnels naguère emblavés en riz. Cette situation limite aussi fortement la riziculture pluviale dans ce pays en dépit des grandes potentialités pour ce type de riziculture.

I.5.2. Contraintes socio-économiques

La plupart des exploitations agricoles sont sous-équipées du fait de la faible capacité d'endettement des paysans et parfois de l'absence d'un circuit adéquat de crédit pour les paysans, surtout dans une situation souvent aléatoire d'une riziculture de bas-fond par exemple. Au Burkina Faso, le coût élevé des aménagements hydrauliques limite fortement le développement de la riziculture irriguée, pourtant la plus productive. L'utilisation des intrants agricoles est généralement faible ou inexistante surtout en riziculture pluviale et de bas-fond. En riziculture irriguée, le coût élevé des intrants constitue souvent un handicap sérieux à l'application des doses de fertilisants recommandées par la recherche scientifique et la vulgarisation seules gages pour une meilleure production. Enfin, le riz importé exerce une concurrence sur le riz produit localement, par son prix de revient généralement plus faible. Les circuits de collecte et de commercialisation de la production nationale sont souvent étroits.

I.5.3. Contraintes abiotiques

Les contraintes liées au sol pour le développement de la riziculture en général sont essentiellement d'ordre physique et chimique. Leurs natures et leurs gravités diffèrent selon les sols.

▪ Contraintes Physiques

La rétention de l'humidité du sol est importante parce que le riz pluvial dépend avant tout de l'eau de pluie. La quantité et la variabilité des précipitations peuvent donc constituer des contraintes majeures pour la production du riz pluvial. Les sols grossiers ou moyens à grossiers ont une faible capacité au champ (Traoré, 2013).

Lorsque la couverture végétale qui protège le sol est défrichée, l'érosion enlève la couche arable ainsi que de nombreux éléments nutritifs, ce qui oblige les agriculteurs à défricher de nouvelles parcelles après une ou deux campagnes pour avoir une bonne récolte (Traoré, 2013).

▪ Contraintes chimiques

La plupart des sols de riziculture pluviale sont acides et peu riches en azote, en phosphore, en soufre et en fer. Les fortes pluies lessivent les bases et rendent les sols acides. La fixation du phosphore est associée à l'acidité du sol et réduit la faculté de la plante d'absorber les éléments nutritifs et de les utiliser efficacement. Dans les sols acides, l'aluminium et le manganèse sont souvent toxiques. La toxicité due à l'aluminium peut être un sérieux inhibiteur de croissance lorsque le pH approche 4 (Traoré, 2012).

La toxicité ferreuse due à un excès d'ions ferreux dans la solution du sol suite à l'inondation et à la stagnation prolongée de l'eau dans les rizières constitue une des contraintes majeures à l'intensification de la riziculture de bas-fonds. Les symptômes se manifestent par de petites ponctuations rougeâtres à brunes sur les feuilles de base.

La baisse de la fertilité des sols est également une contrainte aussi bien à l'intensification de la riziculture de bas-fond, que de la riziculture avec maîtrise totale de l'eau et de la riziculture en condition de submersion libre ou contrôlée.

I.5.4. Contraintes biotiques

La riziculture au Burkina Faso est soumise à l'attaque des adventices, des insectes ravageurs, des oiseaux granivores, des nématodes ainsi qu'à la persistance des maladies dont les principales sont la pyriculariose causée par *Magnaporthe grisea*, le flétrissement bactérien et la striure bactérienne, causées respectivement par *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* et *Xanthomonas oryzae* pv *oryzicola* et surtout la panachure jaune du riz causée par le virus de la panachure jaune du riz (*Rice yellow mottle virus*, RYMV). Parmi les principales maladies infectant le riz, la panachure jaune du riz est la plus dévastatrice.

I.6. Principales maladies virales du riz

La riziculture dans le monde est soumise aux pertes dues aux facteurs abiotiques (froid, sécheresse, pauvreté des sols, salinité, toxicité ferreuse, etc.) et aux déprédations de nombreux organismes. A l'échelle locale, l'impact des maladies virales s'avère être conséquent. Les virus retiennent l'attention de la communauté scientifique à cause de leur anatomie, leur biologie et leur écologie particulièrement spécifiques. Une quinzaine de virus a été répertoriée comme pouvant infecter le riz sous des conditions naturelles et/ou artificielles à travers le monde. Le tableau 1 résume ces virus ainsi que leur répartition géographique.

De tous ces virus, seuls quatre retiennent l'attention des communautés scientifiques nationales et internationales en raison de leur impact se traduisant par des pertes moyennes de rendement variant de 25 à 100 %.

- Le « **Rice tungro disease** » constitue la principale virose d'importance économique dans les écosystèmes rizicoles en Asie. Cette virose qui est très spécifique au continent asiatique n'a jamais été signalée sur les continents américain et africain. Elle est induite par un complexe viral associant le « *Rice tungro baciliform virus* » et le « *Rice tungro spherical virus* ».
- Le « **Rice hoja blanca disease** » représente la virose majeure du riz sur le continent américain. Cette virose causée par le « *Rice hoja blanca tenuivirus* » est spécifiquement inféodée au continent américain et n'a jamais été signalée sur les continents asiatique et africain.
- Quant à la **Panachure jaune du riz** qui fait l'objet de la présente étude, elle est induite par le **Virus de la panachure jaune du riz** ou « *Rice yellow mottle sobemovirus (RYMV)* » en anglais. Confinée au seul continent africain, cette maladie affecte tous les types de riziculture (irriguée, bas-fond, et pluvial). Elle est considérée comme la plus importante contrainte biotique pour la riziculture en Afrique.
- Le **virus de la nécrose à rayure du riz** ou « *Rice stripe necrosis virus (RSNV)* » est décrit pour la première fois en Côte d'Ivoire en 1977 (Louvel et Bidaux, 1977) et par la suite observé dans certains pays comme le Libéria, le Nigéria, et la Sierra Leone (Fauquet *et al.*, 1987). Ce virus émergent a été récemment décrit au Burkina Faso (Séréme *et al.*, 2014) et au Bénin.

Tableau I : Liste des virus pouvant infecter le riz

Virus	Acronyme	Genre	Famille	Distribution géographique
<i>Barley yellow dwarf virus</i>	BYDV	<i>Luteovirus</i>	<i>Luteoviridae</i>	Europe (Italie)
<i>Rice black-streak dwarf virus</i>	RBSDV	<i>Fijivirus</i>	<i>Reoviridae</i>	Asie (Chine et Japon)
<i>Rice bunchy stunt virus</i>	RBSV	<i>Non-classé</i>	Non-classé	Asie
<i>Rice dwarf virus</i>	RDV	<i>Phytorovirus</i>	<i>Reoviridae</i>	Asie
<i>Rice gall dwarf virus</i>	RGDV	<i>Phytorovirus</i>	<i>Reoviridae</i>	Asie du Sud Est
<i>Rice grassy stunt virus</i>	RGSV	<i>Tenuivirus</i>	Non-classé	Asie
<i>Rice hoja blanca virus</i>	RHBV	<i>Tenuivirus</i>	Non-classé	Amérique Latine
<i>Rice necrosis mosaic virus</i>	RNMV	<i>Bymovirus</i>	Non-classé	Asie (Inde et Japon)
<i>Rice ragged stunt virus</i>	RRSV	<i>Oryzavirus</i> (provisoire)	<i>Reoviridae</i>	Asie
<i>Rice stripe necrosis virus</i>	RSNV	<i>Benyvirus</i>	Non-classé	Afrique et Amérique Latin
<i>Rice stripe virus</i>	RSV	<i>Tenuivirus</i>	Non-classé	Asie du Nord
<i>Rice transitory yellowing virus</i>	RTYV	<i>Non-classé</i>	<i>Rhabdoviridae</i>	Asie
<i>Rice tungro bacilliform virus</i>	RTBV	<i>RTBV-likeviruses</i>	<i>Caulimoviridae</i>	Asie
<i>Rice tungro spherical virus</i>	RTSV	<i>Waikavirus</i>	<i>Sequiviridae</i>	Asie
<i>Rice yellow mottle virus</i>	RYMV	<i>Sobemovirus</i>	Non-classé	Afrique

Source : Calvert et al., 2003

II. La panachure jaune du riz

II.1. Origine de la maladie

La panachure jaune du riz a été signalée pour la première fois en 1966 dans les cultures de riz au bord du lac Victoria au Kenya (Afrique de l'Est) (Bakker, 1970). La maladie a ensuite été rapportée entre 1975 et 1990 dans plusieurs autres pays d'Afrique de l'Est, de l'Ouest et à Madagascar. Elle n'a jamais été rapportée hors du continent africain. (Bakker, 1970).

L'origine virale de la panachure jaune du riz a été mise en évidence par Bakker (1970) qui a proposé le nom de « *Rice yellow mottle virus* (RYMV) » qui a eu diverses traductions dans la littérature francophone : « mosaïque jaune du riz », « marbrure jaune du riz » et « panachure jaune du riz ». Aujourd'hui, l'appellation de « panachure jaune du riz » a été définitivement adoptée depuis le symposium international sur la maladie tenu en 1995 à Bouaké (Cote d'Ivoire).

Le RYMV a d'abord été rangé dans le groupe des Sobemovirus (Hull, 1988). Ce groupe qui comprend le *Southern bean mosaic virus* (SBMV) comme virus type a été approuvé depuis 1982 par le Comité international de taxonomie des virus (ICTV) (Mathews, 1982). La réorganisation récente de la nomenclature des virus de plantes a fait du groupe Sobemovirus un genre et du RYMV une espèce virale (Van Regenmortel *et al.*, 1980).

II.2. Distribution géographique de la maladie

Confiné au seul continent africain, la maladie de la panachure jaune du riz a été décrite pour la première fois au Kenya plus précisément à Kimusu à l'Est du Lac Victoria en 1966 (Bakker, 1974). Elle a ensuite été décrite en 1976 au Libéria, Nigéria, Sierra Léonne et en Tanzanie (Rossel *et al.*, 1982). Plus tard, elle a été signalée dans plusieurs localités en Côte d'Ivoire (Fauquet et Thouvenel, 1977), et en 1980 au Ghana et à Koba en Guinée (Raymundo et Konteh, 1980).

C'est à la fin de l'année 1980, que la maladie a été observée au Niger, Burkina Faso et au Mali, ainsi qu'au Malawi (Jonh *et al.*, 1984) et au Rwanda (Awoderu *et al.*, 1987), puis elle a été

décrite à Madagascar en 1989. Elle a également été décrite en Gambie, en Guinée-Bissau, au Sénégal, en Mauritanie (Awoderu, 1991), et à Zanzibar (Ali et Abubakar, 1995).

En 2006, elle a été observée en Uganda (Pinel et Fargette, 2006), et au Rwanda en 2011 (Ndikumana *et al.*, 2011). Elle a été signalée respectivement d'abord au Burundi en 2012 (Ndikumana *et al.*, 2012), ensuite en République Démocratique du Congo en 2013 (Hubert *et al.*, 2013), puis en République Centrafricaine en 2014 (Longue *et al.*, 2014). La figure 4 résume la distribution du RYMV sur le continent africain.

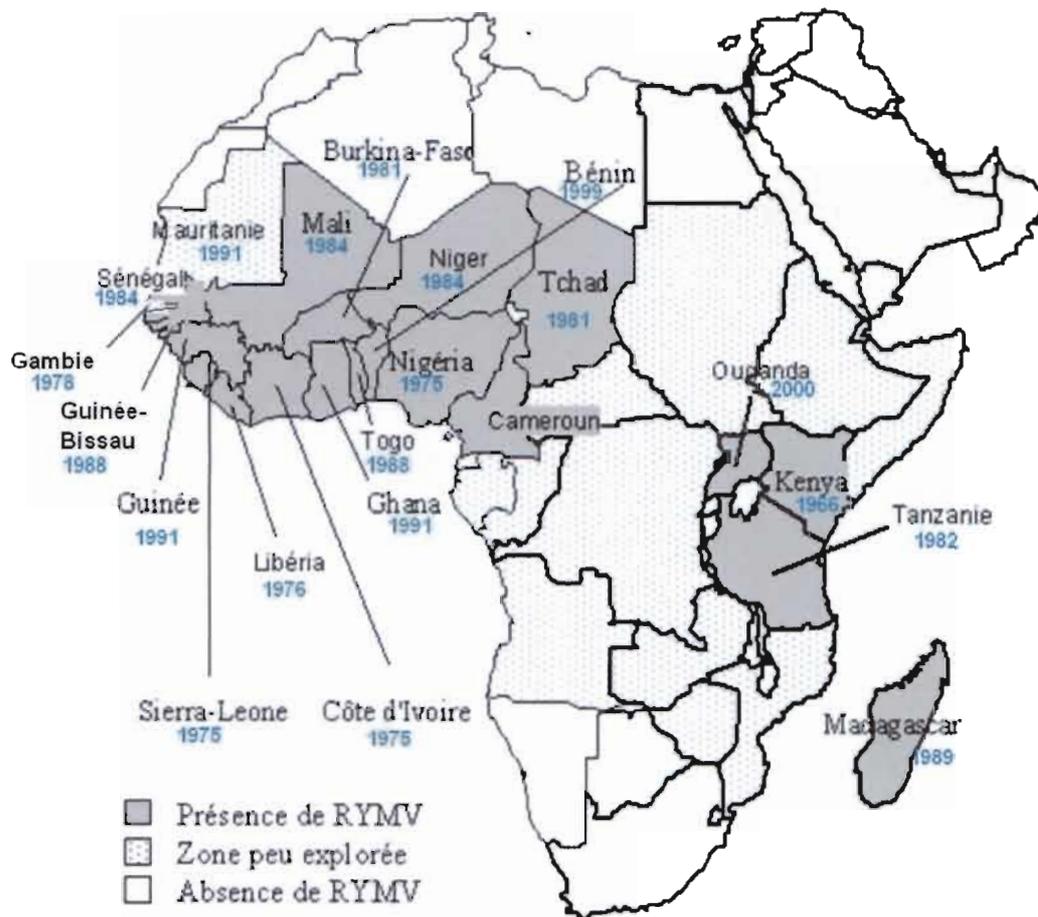


Figure 2 : Distribution géographique du RYMV.

Source : F. Sorho modifié par Sérémé (2010).

II.3. Virus de la panachure jaune du riz

II.3.1. Généralités sur le virus

II.3.1.1. Symptômes de la maladie

La panachure jaune du riz tient son nom des symptômes de jaunissement observés au niveau des feuilles chez les plantes infectées. Bien que la coloration jaune soit dominante, le jaunissement des feuilles n'est pas uniforme et des zones du limbe gardent leur coloration chlorophyllienne verte. Cela permet de faire la distinction avec des cas de chlorose d'origine purement physiologique comme les carences en azote ou en fer (Thottappilly et Rossel, 1993).

Les premiers symptômes de la maladie sont des points chlorotiques qui se développent ensuite parfois sous forme de stries. A un stade avancé de la maladie, les points chlorotiques deviennent nécrotiques. Dans la plupart des cas, il y'a un rabougrissement des plants et une diminution des talles. Chez les génotypes de riz particulièrement sensibles, les infections précoces conduisent à la mort des plantes (Bakker, 1974 ; Ou, 1985). En réalité, les symptômes de la panachure jaune du riz varient quelque peu selon le génotype de riz. Ainsi, les symptômes décrits par Bakker (1970) vont d'une coloration jaune-vert pale des feuilles chez la variété de riz « sindano » à un jaune franc chez « basmati » ou une coloration orange chez « IR8 ». (Figure 3).

L'effet de la maladie se manifeste aussi à différents niveaux de la formation des fleurs et des graines : floraison asynchrone, émergence partielle des panicules, stérilité des épillets et mauvais remplissage des grains (Raymond et Buddenhagen, 1976 ; Fauquet et Thouvenel, 1977 ; Bakker, 1974).

Le rendement en grains est alors fortement affecté et les pertes peuvent atteindre 20 à 100% en fonction des variétés de riz et de l'âge au moment de l'infection (Fomba, 1998 ; Awoderu, 1991 ; Ouédraogo et Séré, 1996 ; Coulibaly *et al.* 1999).

Au champ, l'aspect général présenté par la maladie dépend également des variétés de riz ainsi que de l'âge de l'infection. On observe d'abord des plantes malades isolées, puis l'infection progresse par formation de plages jaunes ou grisâtres.

A un stade avancé et lorsque l'infection est sévère, les plages fusionnent et donnent leur coloration au champ tout entier. Au Burkina Faso, les premiers symptômes de panachure jaune chez le riz ont été observés au cours de la saison pluvieuse 1981 (Ouédraogo et Séré, 1996). Mais à l'époque l'origine parasitaire n'était pas reconnue. Quelques années après, Thouvenel sur communication personnelle confirme qu'il s'agissait bien du RYMV. Au cours de la saison pluvieuse 1990, la maladie a connu une explosion jamais observée au regard des dégâts

apparents et des pertes de rendement du riz (Ouédraogo et Séré, 1996). C'est ce type de situation qui est survenue au début des années 1990 particulièrement en Afrique de l'Ouest. Cela a alors attiré l'attention de l'ensemble des acteurs de la filière riz sur les dangers de la maladie pour la riziculture.

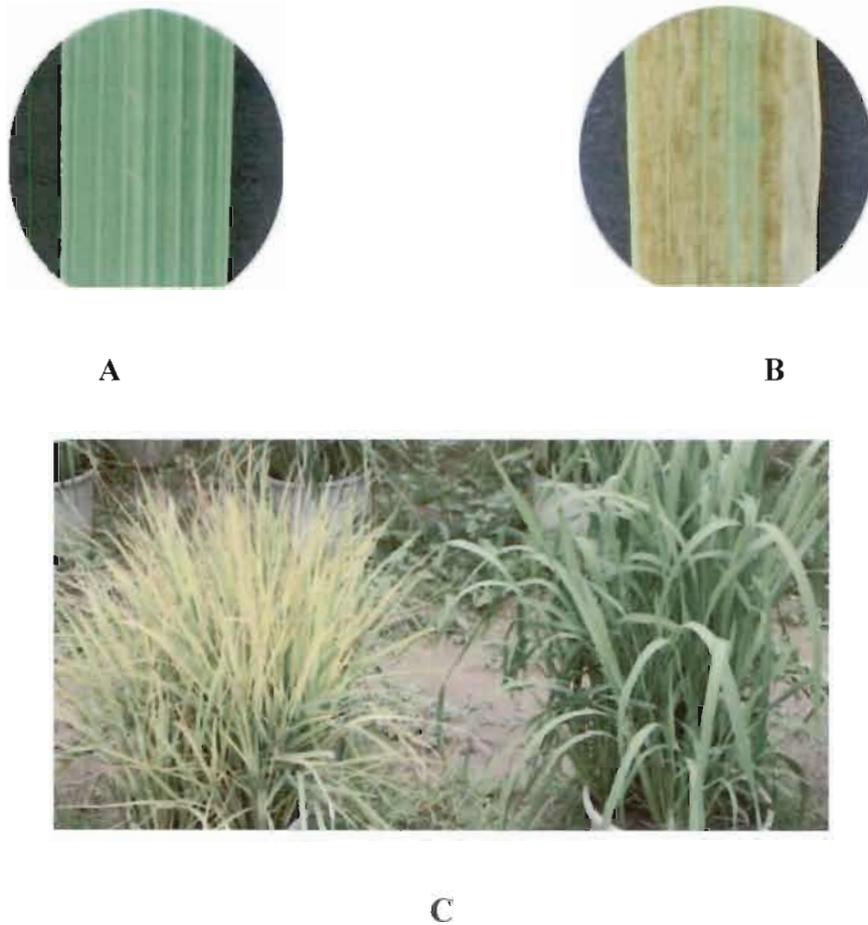


Figure 3 : Symptômes de panachure jaune. (A) feuille de riz saine ; (B) Chlorose totale de la feuille de riz; (C) : à gauche, des plants de riz infectés par le RYMV et à droite, des plants de riz sains. *Source* : Traoré, (2013).

II.3.1.2. Caractéristiques structurales et biochimiques du RYMV

Les particules virales sont de type isométrique (figure 4.A) et ont 25 à 30 nm de diamètre (Bakker, 1974 ; Fauquet et Thouvenel, 1977). La structure fine de la capsidie du RYMV a été déterminée (Opalka *et al.*, 2000; Qu *et al.*, 2000) (Figure 4.B). Il a pu être établi que la capsidie était composée de 180 sous-unités capsidaires identiques. Le génome du RYMV consiste en un ARN linéaire simple brin de polarité positive et ne possède pas de queue poly A en 3'. Une première organisation génomique du RYMV a été publiée par Ngon A Yassi *et al* (1994) qui concluaient à une organisation de type *Southern bean mosaic virus* (SBMV) (Wu *et al.*, 1987).

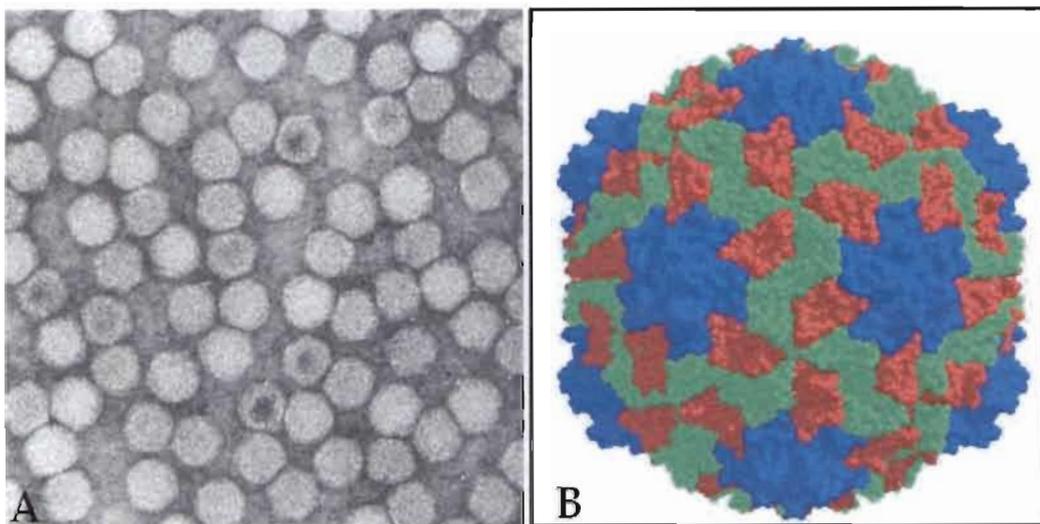


Figure 4 : Structure de la particule virale du RYMV : A, particules du RYMV de diamètre 25 nm observées au microscope électronique après coloration à l'acétate d'uranyle (Bakker, 1974); B, structure tridimensionnelle de la particule obtenue par cristallographie aux rayons X (Qu *et al*., 2000).

II.3.1.3. Propriétés biologiques et biophysiques du RYMV

Le RYMV est un virus très stable et très infectieux (Bakker, 1974; Fauquet et Thouvenel, 1977). La stabilité des particules virales est fonction du pH et des ions calcium (Hull, 1988). A pH légèrement basique ou en présence d'agents chélatants d'ions divalents tels que Ca^{2+} et Mg^{2+} , les particules des *Sobemovirus* se dissocient. Le point de thermo-inactivation est situé entre 70 et 80°C. Le RYMV est un virus facile à purifier (Bakker, 1975). Des rendements de purification variant entre 1 à 6 mg de virus par gramme de feuille ont été souvent obtenus chez les *cultivars* de riz sensibles (Bakker, 1975; Fauquet et Thouvenel, 1987; Mansour et Baillis, 1994). Le point de dilution limite du RYMV est compris entre 10^{-6} et 10^{-11} selon qu'il s'agit de jeunes feuilles ou de feuilles plus âgées (Bakker, 1974; Ou, 1985; Fauquet et Thouvenel, 1987).

II.3.2. Épidémiologie du RYMV

II.3.2.1. Sources du RYMV

II.3.2.1.1. Plantes hôtes du RYMV

Plusieurs espèces de plantes appartenant toutes à la famille des *Poaceae* ont été identifiées comme des hôtes artificiels du RYMV (Annexe I). La majorité d'entre elles sont rangées dans deux tribus, celle des *Oryzeae* et celle des *Eragrostideae*. Mais, le riz lui-même semble être le principal hôte du RYMV (Bakker, 1974; Konaté *et al.*, 2001).

Comparativement aux hôtes artificiels, la gamme d'hôtes naturels du RYMV est assez restreinte (Annexe I). Jusqu'en 1996, le genre *Oryza* a été rapporté comme étant le principal hôte naturel du RYMV et *Oryza longistaminata* a été reconnue comme étant le seul hôte naturel sauvage du RYMV. Cependant, une infection naturelle de *Oryza barthii*, *Panicum subalbidum*, *Acroceras zizanioides*, *Sacciolepis africana*, *Eragrosis sp*, *Setaria longistaminata* au Cameroun et au Tchad a été rapportée (Traoré *et al.*, 2001). En outre, une infection naturelle de *Echinochloa colona*, de *Ischaemum rugosum*, de *Salib panicum*, de *Oryza longistaminata* et *O. barthii* a été signalée (Konaté *et al.*, 1997). Ces hôtes jouent un rôle important dans l'épidémiologie du RYMV. Ils constituent des plantes réservoirs qui contribuent à pérenniser le virus et ainsi à perpétuer la maladie d'une saison de culture à l'autre.

II.3.2.1.2. Autres sources du RYMV

En plus des plantes hôtes, les repousses de riz (Konaté *et al.*, 2001), les débris cultureux (paille, grains tombés) (Abo, 1998; Sarra, 2005), l'eau d'irrigation et l'eau de guttation (Bakker, 1974), les déjections d'animaux alimentés avec des plants de riz infectés par le virus et utilisées comme fertilisants ont été rapportés comme source d'inoculum du RYMV (Rekhaus et Andriamasintseho, 2001; Sarra, 1998). Cependant, la description de certains facteurs comme l'eau d'irrigation en tant que source du virus au champ est controversée (Sy, 1994). De plus, l'importance des sources du virus signalées ici reste à déterminer et la part relative qu'elles ont dans la dissémination du RYMV reste méconnue.

II.3.2.2. Variabilité moléculaire

C'était le typage sérologique, notamment l'utilisation d'anticorps en test ELISA qui avait été employé pour caractériser des échantillons de RYMV et ainsi étudier la diversité du RYMV (Konaté *et al.*, 1997). Mais après une minutieuse comparaison entre le typage sérologique et le typage moléculaire, il apparaît des résultats identiques avec une plus grande précision dans le typage moléculaire. Fargette *et al.*, (2002) ont montré que les analyses des nucléotides ou des acides aminés du gène de la protéine de capsid utilisées dans le typage moléculaire peuvent être utilisées pour décrire la diversité du RYMV, car étant le moyen le plus discriminant à cet effet. Dès lors, le typage moléculaire pouvait désormais être employé seul, comme outil de discrimination dans les études de diversité du RYMV.

C'est ainsi que l'analyse des séquences du gène de la protéine de capsid d'un corpus d'isolats collectés à l'échelle du continent africain a permis de distinguer six groupes phylogénétiques (ou souches moléculaires) nommés S1 à S6 avec une souche sahélienne Sa (Traoré *et al.*, 2005).

Les souches S4, S5 et S6 sévissent en Afrique de l'Est et à Madagascar tandis que les souches S1, S2 et S3 ont été localisées en Afrique de l'Ouest et du Centre avec une prédominance de S1 en zones de savane et de S2 en zone de forêt. (Figure 5)

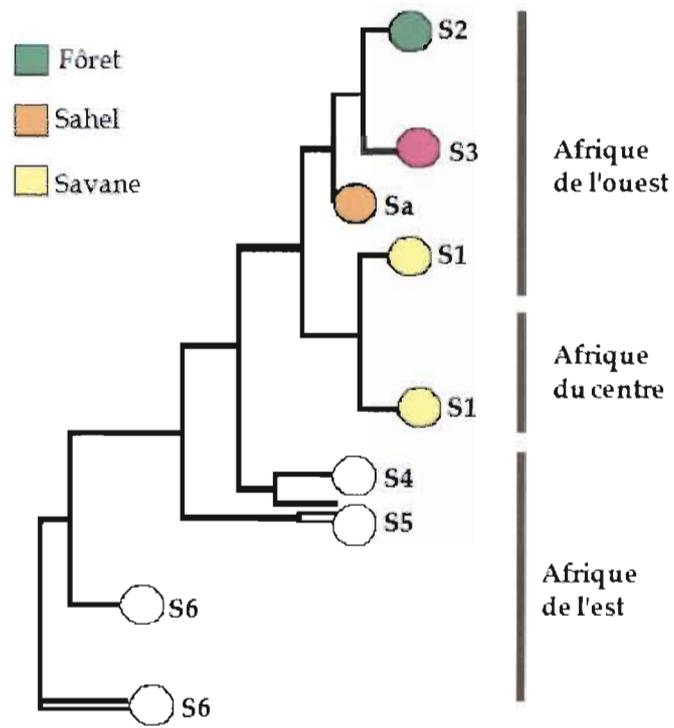


Figure 5 : Distribution géographique et écologique des souches du RYMV

Source : Traoré *et al.*, 2005

II.3.2.3. Modes de transmission de la maladie

II.3.2.3.1. Transmission mécanique

Le premier mode de transmission du RYMV mis en évidence a été l'inoculation mécanique au laboratoire (Bakker, 1970 ; Fauquet et Thouvenel, 1977). Les feuilles d'une plante saine sont frottées avec un broyat de feuilles provenant de plants malades, en présence d'un produit abrasif comme le carborundum. Les symptômes apparaissent environ une semaine après inoculation (Bakker, 1975). L'inoculation mécanique est la méthode privilégiée pour la transmission du virus au laboratoire ou dans les tests de criblage pour la résistance à la panachure jaune du riz.

Il a été démontré qu'au champ, la transmission mécanique du RYMV par contact direct entre feuilles de plants malades et de plants sains est un mode de dissémination du virus. Selon Sarra *et al.* (2004), le vent est un facteur important permettant le frottement des feuilles entre elles. De plus, le sable qu'il soulève pourrait servir d'abrasif pour faciliter davantage la transmission. L'inoculation virale pour ce type de transmission pourrait être l'eau de guttation identifiée par Bakker (1974) comme source de virus.

II.3.2.3.2. Transmission par insecte

Les travaux réalisés par Bakker (1970, 1971, 1974) ont permis l'identification d'insectes vecteurs du RYMV. En effet, on rencontre aujourd'hui plus d'une vingtaine d'espèces d'insectes capables de transmettre le RYMV. Ces insectes appartiennent en majorité à l'ordre des coléoptères qui sont aussi les principaux vecteurs chez les autres virus du genre Sobemovirus (Hull, 1998). Pour le RYMV, tous les coléoptères transmettant le virus sont de la même famille (chrysomelidae). Malgré cette uniformité, il existe une certaine spécificité dans les relations RYMV-Coléoptères vecteurs. En effet, des espèces très voisines peuvent les unes être capables de transmettre le virus tandis que les autres en sont incapables. C'est par exemple le cas de *Dactylispa bayoni* (vecteur) et *D. spinigera* (non vecteur) (Bakker, 1974). D'autre part, Bakker (1975) a rapporté que la durée pendant laquelle l'insecte vecteur reste virulifère peut varier selon l'espèce. Le mécanisme de la spécificité de transmission du RYMV par coléoptère n'a pas encore été étudié. Cependant, dans le cas général des virus de plante transmis par les coléoptères, il a été montré que la spécificité de transmission est due au contenu de la régurgitation qui a été identifié comme étant la ribonucléase. Celui-ci interagirait avec les virus non transmissibles par l'insecte pour les inactiver. Au-delà de cette explication, il y a sans doute

d'autres facteurs non encore élucidés qui ont un rôle déterminant dans la spécificité et l'efficacité ou l'incapacité des coléoptères à transmettre les virus. Hormis les coléoptères, d'autres insectes appartenant notamment à l'ordre des orthoptères ont aussi été identifiés comme pouvant transmettre le RYMV. Il s'agit des sauterelles *Gonocephalus merumontanus* (Bakker, 1974, *G.longipennis* (Abo, 1998) et des criquets *Oxya spp* (IRRI, 1983).

II.3.2.3.3. Transmission par les mammifères

Avec le *Subteranean clover mottle virus* (SCoMV), Ferris *et al.*, (1996) ont montré la transmission de Sobemovirus par les mammifères. Il s'agirait de moutons qui en broutant des plantes malades transmettaient le virus en s'alimentant ensuite sur des plantes saines. Ce type de transmission a récemment été testé par Sarra et Peters, (2003) dans le cas du RYMV.

Ces auteurs ont démontré que le RYMV est transmissible par des animaux comme le bœuf, l'âne, et les rats. Comme dans le couple mouton-SCoMV, le bœuf ou l'âne ont transmis le virus en broutant successivement des plantes malades et saines de riz. Il est probable que d'autres animaux herbivores domestiques (moutons ; chèvres, etc) ou sauvages soient capables de la même manière d'assurer la transmission du virus. Quant aux rats, c'est en rongant les tiges qu'ils transmettent le RYMV entre plantes malades et saines. L'âne, pourrait être l'un des vecteurs assurant la primo infection des pépinières de riz par le RYMV (Sarra et Peters, 2003) et même être impliqué dans la dissémination du virus au champ. L'importance relative de chacun de ces animaux dans l'épidémiologie globale de la panachure jaune du riz reste à examiner.

II.3.2.3.4. Transmission par le vent

Le vent qui souffle soulève la poussière de sable fin et provoque le frottement des plantes de riz entre elles. Avec ce frottement, le RYMV peut être propagé à partir de plantes malades. Cette transmission est accentuée sous l'effet des grains de sable qui causent des blessures aux feuilles de riz facilitant ainsi le passage du virus (Sarra *et al.*, 2004).

II.3.2.3.5. Transmission par l'eau d'irrigation

Le RYMV peut être détecté dans l'eau d'irrigation qui est donc une source possible du virus. Mais le seul arrosage de plantes avec de l'eau contaminée ne permet pas la contamination du virus. Par contre, si d'autres facteurs capables de provoquer des blessures aux plants de riz y sont associés, le RYMV peut alors se transmettre par l'eau d'irrigation. (Sarra *et al.*, 2004).

II.3.2.3.6. Transmission à partir de certaines opérations culturales

L'homme lui-même participe à la transmission du RYMV au cours des travaux au champ. En touchant à des plantes malades, il souille ses mains. En touchant ensuite aux plantes saines avec ses mains souillées il peut leur transmettre le virus. Les principales opérations culturales incriminées sont :

➤ **Arrachage et mise en bottes des plants de la pépinière**

Dans ce cas, les mains sont souillées au contact de plants malades pouvant se trouver dans la pépinière (plantules de riz, repousse de riz ou plants de riz sauvage *Oryza longistaminata*).

De plus, certains producteurs coupent l'extrémité des feuilles ou des racines des plantules avec une machette ou d'autres outils tranchants. Cette pratique augmente le risque de contamination.

➤ **Repiquage des plants de riz au champ**

Le repiquage de plantules malades présentes dans les bottes laisse du virus sur les mains de l'homme qui le transmet ensuite en repiquant des plantules saines.

➤ **Désherbage manuel du champ**

Au cours du désherbage, les mains peuvent se souiller au contact de plants malades et contaminer par la suite des plants sains.

II.3.2.3.7. Non transmission du RYMV

Il est maintenant établi que le RYMV n'est pas transmissible aux plants par les grains de riz (Bakker, 1974; Fauquet et Thouvenel, 1977; Konaté *et al.*, 2001). Récemment, Allarangaye *et al* (2006) ont rapporté que le virus n'est pas non plus transmissible par grains de *Poaceae*. Par ailleurs, aucune des espèces de nématode testées à savoir : *Heterodora oryzae*, *Hirschmaniella spp.*, *Meloidogyne spp.*, *Paratrichodorus spp.*, n'a été capable de transmettre le RYMV (Bakker, 1974; Raymundo *et al.*, 1979; Abo *et al.*, 2000).

II.4. Méthodes de lutte contre la panachure jaune du riz

II.4.1. Pratiques culturales et lutte chimique

Comme dans les cas de plusieurs agents pathogènes de plantes, les méthodes culturales peuvent être à l'origine du développement des épidémies virales (Thresh, 1982). A l'inverse, lorsqu'elles sont adaptées, elles peuvent permettre une bonne gestion de la maladie. Les moyens de lutte culturale apparaissent plutôt comme des hypothèses inspirées de situation d'autres virus ou des propriétés *in vitro* du virus et il est alors difficile d'évaluer leur impact sur le contrôle de la maladie. Dans l'ensemble, il s'agirait de mesures prophylactiques destinées à réduire la disponibilité de l'inoculum viral ou de freiner la propagation de la maladie au champ. La lutte culturale concerne essentiellement le respect des dates de semis ne coïncidant pas avec la période d'infestation massive des insectes vecteurs, la bonne gestion des pépinières par des nettoyages réguliers pour éviter une infection trop précoce des plantules.

II.4.2. Méthodes de lutte génétique

II.4.2.1. Types de résistances au RYMV

Depuis l'apparition de la panachure jaune du riz en Afrique, des efforts ont été déployés pour la recherche de variétés résistantes au RYMV à cause des nombreux dégâts qu'elle provoque. Ainsi, de nombreuses variétés de riz cultivé et sauvage ont été évaluées (Okioma et Sarkarung, 1983, Taylor, 1989 ; Awoderu, 1991; Thottappilly et Rossel, 1993). Cela a permis d'identifier

quelques variétés avec différents niveaux de résistance. Des variétés immunes au RYMV ont même été identifiées chez *O. glaberrima*, *O. longistaminata* et *O. barthii* (Thottappilly et Rossel, 1993). Deux types de résistances naturelles ont pu être caractérisés. Une résistance dite élevée a été caractérisée chez la variété de riz Giganté (*O. sativa indica*) et quelques variétés de la série Tog (Tropical *O. glaberrima*) représentées notamment par Tog5681. La résistance élevée se manifeste par une absence de symptômes à l'infection et une faible teneur en virus (Ndjondjop *et al.*, 1999 ; Ioannidou *et al.*, 2000). Son déterminisme génétique a été identifié comme étant le type monogénique et récessif et le gène de résistance impliqué est le même chez Giganté comme chez Tog5681. A côté de la résistance élevée, une résistance dite partielle a été identifiée chez la variété Azucena (*O. sativa japonica*). Elle est caractérisée par un retard dans l'apparition des symptômes et l'accumulation virale avec un déterminisme de type polygénique (Ioannidou *et al.*, 2000, Ndjondjop *et al.*, 2001). Les deux types de résistances naturelles ont été introduits dans des variétés sensibles mais à fort potentiel de rendement. Plusieurs descendants de ces croisements sont en cours d'évaluation. Parmi eux, les variétés du groupe NERICA (NEW RICE for Africa) sont présentées comme très prometteuses du fait qu'elles allient d'autres atouts (résistance aux mauvaises herbes, au déficit hydrique, aux maladies bactériennes et cryptogamiques) et la résistance au RYMV (WARDA, 2001). Avec la maîtrise des méthodes de transformation du riz, une autre forme de résistance au RYMV a été obtenue. Il s'agit de la résistance dérivée de l'introduction du gène de l'ARN polymérase ARN-dépendante du RYMV dans le génome du riz par transgénèse (Pinto *et al.*, 1999). La présence de ce transgène dans la plante de riz permet à cette dernière de lutter contre l'infection virale par l'intermédiaire d'un processus appelé « *virus induced gene silencing*, VIGS). Au cours de ce processus, l'ARN viral est dégradé de façon spécifique suite à la reconnaissance avec les séquences homologues du transgène (Baulcombe, 2000 ; 2004 ; Lecellier et Voinet, 2004), ce qui conduit en définitive à l'extinction de l'expression du génome virale.

II.4.2.2. Gènes de résistance au RYMV

De nombreux travaux de sélection variétale et de criblage ont conduit à l'obtention de variétés renfermant différents niveaux de résistance au RYMV. En effet, des variétés sensibles au RYMV constituent des variétés de choix dans les activités de multiplication du virus à cause de leur très faible capacité à empêcher la propagation du virus en elles contrairement aux variétés résistantes dotées de mécanismes empêchant la propagation du virus. C'est ainsi que le RYMV

constitué d'un génome de petite taille codant pour seulement cinq (5) protéines a donc besoin des protéines de son hôte le riz pour accomplir les différentes étapes de son cycle infectieux. Une des protéines que requiert le virus de la panachure jaune semble être le facteur codé par le gène qui est probablement impliqué dans la traduction des protéines virales et qui est également impliqué dans d'autres processus tel que le mouvement du virus au sein d'une cellule. Ce gène, est lié à une fonction biologique essentielle de la plante puisqu'il permet de traduire les ARN messagers cellulaires en protéines. Il a été montré que, chez quelques variétés, de petites mutations dans une zone particulière de ce gène sont responsables de la résistance. Cependant chez une variété sensible à l'infection, le virus interagit avec le facteur codé par ce gène et l'utilise à son propre avantage. Des études de génétique classique ont d'abord mis en évidence que la résistance était sous le contrôle d'un unique gène récessif. Puis, des approches de cartographie génétique ont permis d'identifier un fragment appartenant au chromosome 4 et contenant le gène de résistance. Sur la base de données bibliographiques, les données du séquençage du génome du riz ont été très utiles pour rechercher dans ce fragment, le gène eIF (iso) 4G (translation initiation factor) baptisé *Rymv1* et impliqué dans la traduction des ARNs cellulaires comme pouvant être à l'origine de la résistance au RYMV (Albar *et al.*, 2003).

Quatre allèles de résistance bien distincts localisés sur le gène *Rymv1* ont été identifiés sur le chromosome 4 dans l'espèce de riz asiatique *Oryza sativa indica* et chez quelques variétés de la série des Tog de l'espèce africaine *Oryza glaberrima* (Thottappilly et Rossel, 1993 ; Ndjiondjop *et al.*, 1999;). C'est ainsi que l'allèle de résistance *Rymv1-2* a été identifié chez *Oryza sativa indica* dans les variétés Giganté et Bekarosaka. L'allèle *Rymv1-3* est présent sur Tog 5681, l'allèle *Rymv1-4* est sur Tog 5672 et *Rymv1-5* sur Tog 5674. Ils diffèrent des variétés sensibles chez *O. sativa* notamment la variété IR64 et *O. glaberrima* notamment la variété BG 90-2 portant l'allèle *Rymv1-1* avec une petite délétion ou une mutation ponctuelle au niveau du domaine moyen de eIF (iso) 4G. (Albar *et al.*, 2006).

Le gène 2 de résistance a été identifié chez Tog 7291 et Tog 5307 (Thiémélé *et al.*, 2010).

La résistance élevée portée par ces 2 gènes est caractérisée par l'absence de symptômes, un niveau indétectable de virus et de très faibles pertes de rendements (Thottappilly and Rossel 1993; Ndjiondjop *et al.*, 1999 ; Rakotomalala *et al.*, 2008). Cependant, la résistance partielle au RYMV, caractérisée par un long délai d'apparition des symptômes et une accumulation moyenne de virus a été rapportée avec la sous- espèce *Oryza sativa japonica* (Ioannidou *et al.*, 2000,). Cette résistance partielle a été localisée sur le chromosome 12 de la variété japonica Azucena (Albar *et al.*, 1998).

La résistance élevée était efficace contre des isolats représentatifs des principales souches du virus (Ndjiondjop *et al.*, 1999). Cependant, la résistance de la variété Giganté a été contournée par quelques isolats (Fargette *et al.*, 2002 ; Traoré *et al.*, 2006 ; Pinel-Galzi *et al.*, 2007). La protéine virale liée au génome (VPg) codée par l'ORF2a du RYMV a été identifiée comme le facteur de virulence (Hébrard *et al.*, 2006). Une mutation particulière dans la VPg a été suffisante pour contourner la résistance élevée chez Giganté. Il en découle que le contrôle génétique du RYMV nécessite que de nouvelles sources de résistance soient continuellement identifiées et caractérisées

DEUXIEME CHAPITRE :

EXPERIMENTATION

I. Effet des dates de repiquage sur l'apparition du Rice Yellow Mottle Virus (RYMV) au champ

I.1. Matériel et Méthodes

I.1.1. Matériel

I.1.1.1. Localisation des zones d'étude

L'étude est menée dans la région des Hauts-Bassins située à l'Ouest du Burkina Faso. Elle a pour chef-lieu Bobo-Dioulasso et est limitée au Nord par la région de la Boucle du Mouhoun, au Sud par la région des Cascades, à l'Est par la région du Sud-Ouest et à l'Ouest par la république du Mali. Elle couvre une superficie totale de 25 479 Km² soit 9,4 % du territoire national et comprend les provinces du Houet, du Kéné Dougou et du Tuy.

L'étude s'est principalement déroulée dans les provinces du Houet et du Kéné Dougou où deux sites constitués des périmètres rizicoles de la Vallée du Kou et de Banzon ont été prospectés. Le périmètre rizicole de la Vallée du Kou est situé à 25 Km au Nord-Ouest de Bobo-Dioulasso à 11°22 latitude Nord et 4°22 longitude Ouest dans la province du Houet, celui de Banzon est situé à 63 Km au Nord-Ouest de Bobo-Dioulasso à 11°20 latitude Nord et 4°40 longitude Ouest dans la province du Kéné Dougou.

Les données collectées proviennent d'une enquête effectuée à Banzon et à la Vallée du Kou (Figure 6) d'Aout 2013 à Novembre 2013. Ces zones ont été choisies en fonction de l'importance de la pression de l'inoculum. En effet, ces zones sont considérées comme des « hotspots » pour les maladies du riz. Il s'agissait donc de conduire les enquêtes dans des zones où la présence de la maladie est très probable et d'année en année.

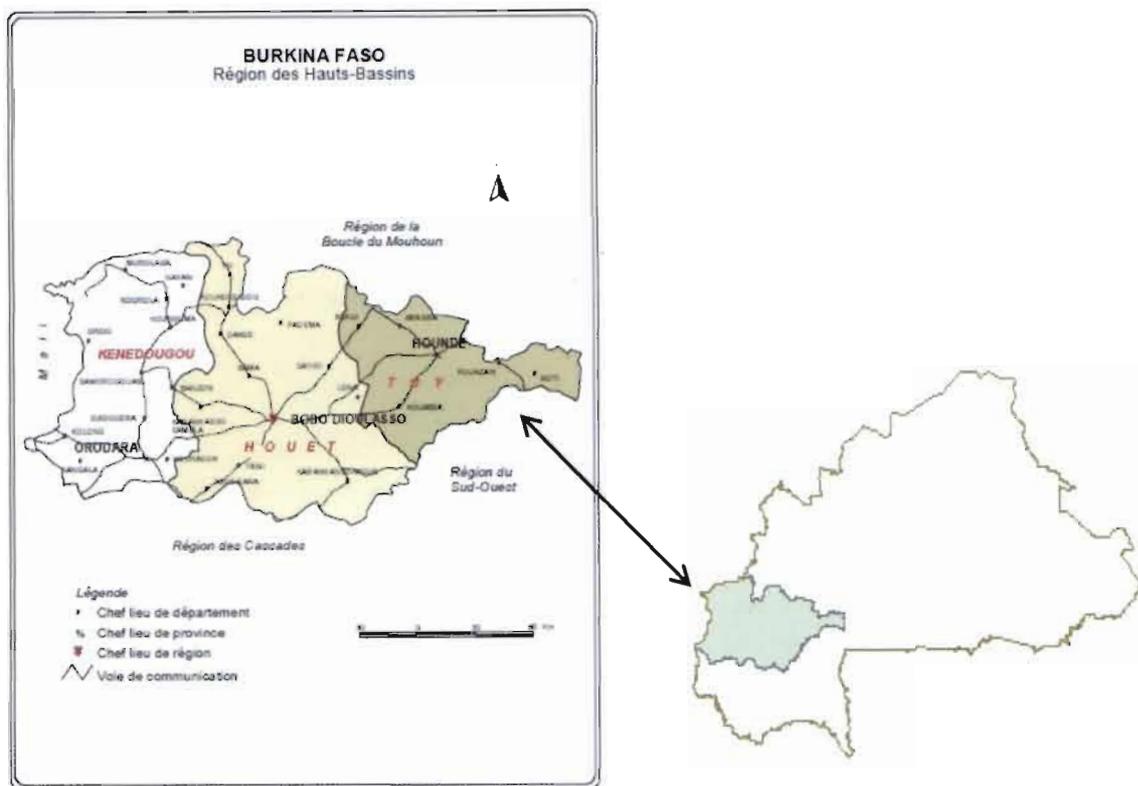


Figure 6 : Situation géographique de la région des Hauts-Bassins

Source : MASA, 2013

I.1.1.2. Le climat

Le climat est tropical de type nord-soudanien et sud-soudanien. Il est marqué par deux grandes saisons : une saison humide qui dure six à sept mois (mai à octobre/novembre) et une saison sèche qui s'étend sur cinq à six mois (novembre/décembre à avril). La pluviométrie relativement abondante est comprise entre 800 et 1200 mm d'eau par an.

Les températures moyennes varient entre 24°C et 30°C avec une amplitude thermique relativement faible de 5°C. (MED, 2005)

I.1.1.3. Les sols

La région présente cinq types de sols : les sols peu évolués, les sols ferrugineux et les sols ferrallitiques (valeur agronomique relativement importante), les sols hydromorphes à pseudo Gley (chimiquement très riches) et les sols gravillonnaires (à valeur agricole faible). Les principaux sols sont les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés ou lessivés et les sols hydromorphes.

Dans le Kéné Dougou, les sols sont pour la plupart profonds (profondeur supérieure à 100 cm) avec une capacité de drainage moyen. Ils sont riches en minéraux et pauvres en matière organique. Par contre dans le Houet, les sols sont en majorité hydromorphes sur cuirasse ancienne et favorables à l'agriculture. (MED, 2005)

I.1.1.4. L'hydrographie

L'hydrographie de la région des Hauts-Bassins est caractérisée par une abondance des ressources en eau avec les cours d'eau suivants :

- Le Mouhoun qui traverse les trois provinces
- le Kou, la Comoé et le Houet dans la province du Houet ;
- Le Banifing dans le Kéné Dougou ;
- Le Tuy ou grand Balé dans la province du Tuy.

I.1.2. Méthodologie

I.1.2.1. Conduite et collecte des données

Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire. Nous avons effectué trois passages à des périodes différentes afin de déterminer d'éventuelles infections virales.

Ainsi, ce questionnaire consigné en annexe IV comportait aussi bien des questions fermées qu'ouvertes. Ces questions portaient essentiellement sur le précédent cultural, la variété produite et surtout les opérations culturales (conduite au champ) notamment les dates de semis et de repiquage. Les questionnaires ont été administrés à 65 producteurs dont 29 provenant de la Vallée du Kou et 36 de Banzon choisis sur la base de la présence ou de l'absence d'infection RYMV dans leurs champs.

Les observations sur la présence ou l'absence de la maladie ont été réalisées dans les parcelles rencontrées au cours d'une série de missions. Des notations sur les mêmes champs à plusieurs stades successifs ont été réalisées afin de suivre l'évolution de la maladie et détecter d'éventuelles parcelles à infection tardive. La collecte des échantillons s'est faite sur la base de l'observation des symptômes de panachure jaune du riz. L'échantillonnage a été réalisé de façon aléatoire c'est-à-dire que les plaines rizicoles de la Vallée du Kou et de Banzon ont été sillonnées et des échantillons ont été prélevés dans les champs qui présentaient des symptômes de panachure jaune du riz et où il était possible d'avoir les dates de repiquage. La présence du virus a été confirmée au laboratoire par le test ELISA. Ainsi, les échantillons collectés ont été conservés dans des glacières jusqu'à leur transfert au laboratoire. Une fois au laboratoire, ils ont été transférés dans un congélateur à -20°C pour les tests de détection sérologique.

I.1.2.2. Analyse des données

Les données collectées ont été traitées à l'aide du logiciel GENSAT 9th édition. Une analyse de variance a été réalisée et les moyennes comparées à l'aide du test de Newman et Keuls au seuil de 5%. Ces analyses ont consisté à la détermination de la probabilité d'infection RYMV en fonction des dates de semis et ou de repiquage. Les graphes ont été réalisés avec le logiciel Excel 2007.

I.2. Résultats-Discussion

I.2.1. Résultats

L'enquête conduite sur les sites de Banzon et de la Vallée du Kou a permis de présenter les résultats dans la figure 7. Ainsi, les dates de repiquage ont été regroupées en trois (3) classes, chaque classe étant constituée d'une décade (10 jours) présentée pour chaque mois ainsi qu'il suit : 1^{er} au 10 ; 11 au 20 ; 21 au 31.

D'une manière générale, pour les deux sites, l'infection par le RYMV varie en fonction des dates de repiquage. Ainsi, le pourcentage d'infection par le RYMV varie entre 0 et 95, 24 %. La plus forte probabilité d'infection a été enregistrée entre le 1^{er} et le 10 Août tandis que la plus faible a été précocement observée entre le 21 et 31 juillet puis tardivement entre le 11 et le 30 septembre. (Figure 7).

Afin de prendre en compte les conditions agro-climatiques, l'effet de la date de semis a été analysé par site. Les figures 8 et 9 présentent le risque d'infection RYMV en fonction des dates de repiquage à Banzon et à la Vallée du Kou respectivement. Ainsi à Banzon, le risque d'infection RYMV est maximal entre le 1^{er} et le 20 Août. A partir de cette date il décroît progressivement pour s'annuler à partir du 11 septembre. (Figure 8). A la Vallée du Kou, le risque d'infection RYMV est maximal entre le 1^{er} et 10 Août puis décroît progressivement pour s'annuler à partir du 1^{er} septembre. A la différence de Banzon, le risque est nul lorsque le riz est semé précocement entre le 21 et le 31 juillet. (Figure 9).

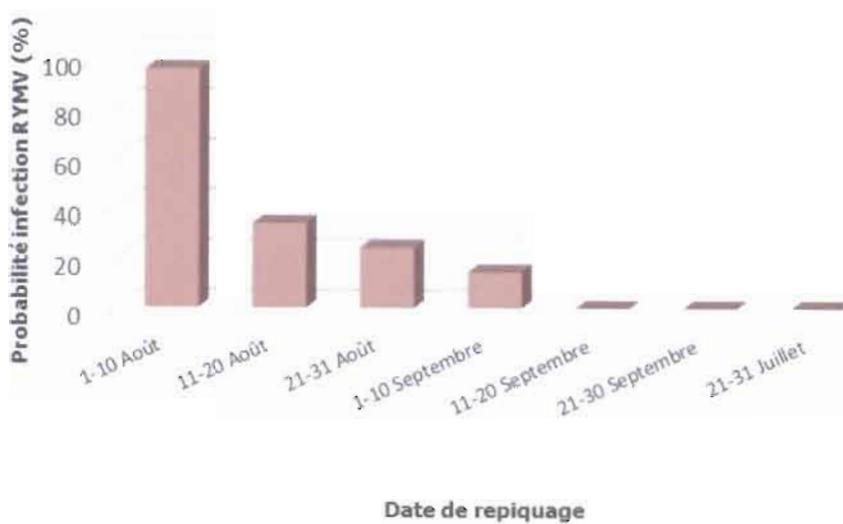


Figure 7 : Risque d'infection du riz par RYMV en fonction de la date de repiquage

Source : Données de l'enquête, 2013

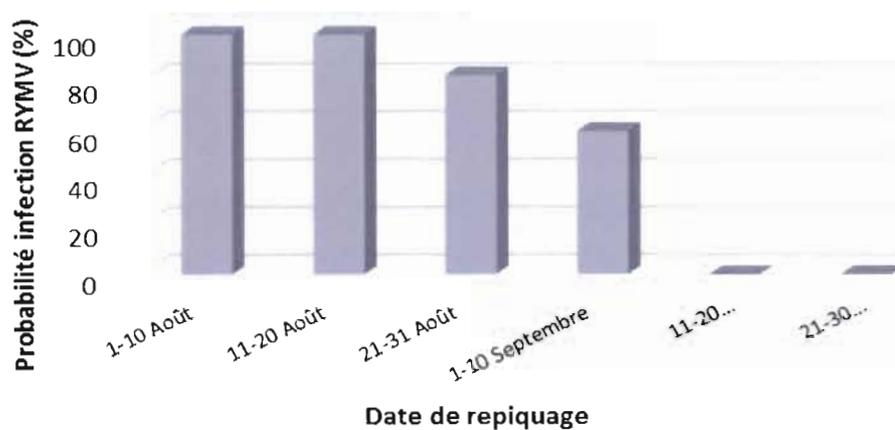


Figure 8 : Risque d'infection du riz par RYMV en fonction de la date de repiquage à Banzon

Source : Données de l'enquête, 2013

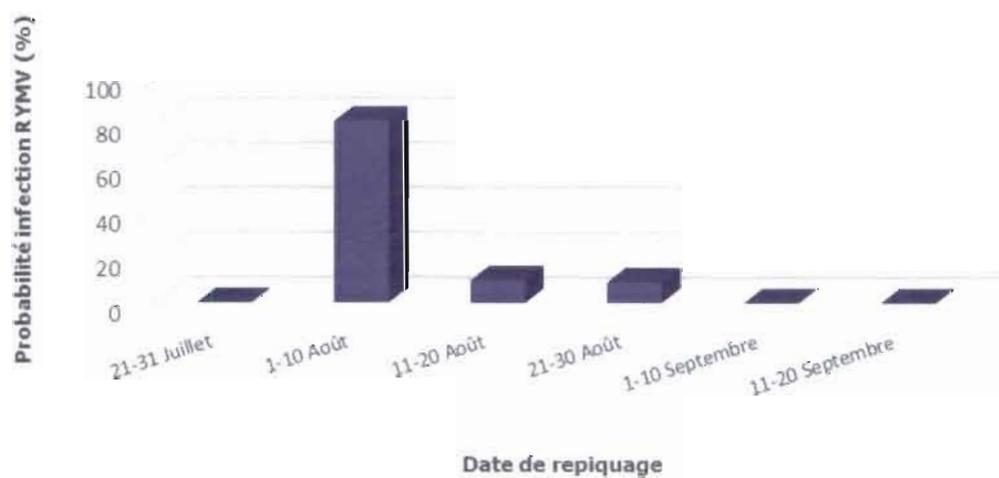


Figure 9 : Risque d'infection du riz par RYMV en fonction de la date de repiquage à la Vallée du Kou

Source : Données de l'enquête, 2013

I.2.2. Discussion

Une relation entre la date de semis/repiquage et l'apparition des infections RYMV au champ a été mise en évidence grâce aux résultats obtenus et ce, aussi bien à Banzon qu'à la Vallée du Kou. Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs qui ont montré que les dates de semis du riz jouent un rôle important dans l'apparition des infections (Heinrichs *et al.*, 1997). Ces auteurs ont montré que l'incidence et le rendement en grains varient en fonction des dates de semis. Cette situation s'expliquerait par des conditions climatiques telles que la température, le taux d'humidité qui varie d'une période à une autre.

D'une manière générale, aussi bien à Banzon qu'à la Vallée du Kou, le risque d'infection RYMV est le plus élevé lorsque les repiquages interviennent entre le 1er et le 10 Août. Cela pourrait donc s'expliquer par une présence abondante d'inoculum viral à cette période. Cette période pourrait correspondre au pic de pullulation des insectes vecteurs du RYMV (*Chrysomaelydae*). Les résultats obtenus par Heinrichs *et al.*, (1997) militent en faveur de cette explication. En effet, ces auteurs ont montré que lorsque les populations d'insectes tels que *Trichispa sericea* sont élevées, le risque d'infection RYMV est également important.

La différence de risque d'infection entre les deux localités pourrait être due à d'autres facteurs propres à chaque localité. En effet, nous avons observé que contrairement à la Vallée du Kou, au niveau de la plaine irriguée de Banzon les producteurs ne respectent pas les consignes de bonnes pratiques culturales telles que le nettoyage des digues et des canaux d'irrigation, le désherbage etc. Certaines de ces adventices constituent des hôtes alternatifs hébergeant le RYMV avec pour conséquence l'augmentation de l'inoculum viral et le risque de transmission du virus au riz.

L'ajustement des dates de semis/repiquage est l'une des pratiques culturales la plus importante à même de minimiser les infections dues au RYMV. Ceci évite la coïncidence avec les stades les plus vulnérables de la plante et lui permet ainsi d'échapper à la maladie. La présente étude révèle que le repiquage du 21-31 juillet ainsi que ceux tardifs intervenus à partir de septembre permettent de réduire considérablement les risques d'infection RYMV. Ces dates peuvent donc être recommandées aux producteurs comme des dates permettant un contrôle du RYMV.

L'étude menée dans ces deux plaines, montre que la date de repiquage joue un rôle capital dans la propagation du RYMV dans les champs. En effet, le repiquage tardif serait un moyen de juguler la dissémination du RYMV dans les champs.

II. Criblage de variétés de riz vis-à-vis du RYMV

Les travaux décrits ici avaient pour objectifs l'identification de sources de résistance et ou de tolérance au RYMV chez le riz qui tiennent compte de la biodiversité du virus dans la zone soudano-sahélienne et plus particulièrement du Burkina Faso. La pression d'inoculum de RYMV étant variable d'une saison à une autre, les travaux de criblage ont été exclusivement réalisés en serre.

II.1.. Matériel et méthodes

II.1.1. Matériel

II.1.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de dix-huit (18) variétés provenant de la collection de riz de l'INERA (Tableau II). Les variétés IR64, Nippombar et Giganté ont été utilisées comme des témoins sensible, tolérante et résistante au RYMV respectivement. La variété IR64 appartient à l'espèce *O. sativa* de type indica; riz irrigué utilisé fréquemment en Afrique, très productive mais très sensible au RYMV ; la variété Nippombar est un *O. glaberrima*, qui est un riz cultivé africain *O. sativa*, moins productif mais présentant une résistance partielle et la variété Giganté (*O. sativa* de type Mica) est caractérisée par une absence totale de symptômes de la panachure jaune du riz, à la fois sous serre et au champ.

Tableau II : Liste des variétés de riz utilisées

Accessions	Pedigré	Espèces ou sous-espèces
FKR 19	TOX 728-1 (Local-Nigeria)	Sativa
FKR 2	Gambiaka	Indica
FKR 28	ITA123	Indica
FKR 45N	CG14/WAB56-50	Interspécifique
FKR 49N	4018 XIR1521-560-2	Sativa
FKR 50	4416 XIR1523-680-3	Sativa
FKR 58N	IR64/TOG5681/4*IR64	Interspécifique
FKR 62N	WAS 122-IDSa-1-WAS-6-1	Interspécifique
FKR 47N	WAS 161-B-9-3	Sativa
FKR 60	WAS 122-IDSa-1-WAS-1-1-B	Interspécifique
WAB2098R		Indica
IR47	TOG5681/3*IR64	Sativa
TS 2	IR64/Gigante	Indica
NIL 130	IR64/Gigante (BC3Fn)	Indica
NIL 16	SAHELIKA/Gigante (BC3Fn)	Indica
	FRK28/Gigante/FKR28/FKR28/FKR28	Indica
NIL 2	= BC3Fn	Indica
NIL 54	IR47/Gigante (BC3Fn)	Indica
NERICA 2	IRGC 96892 Gambia	Interspécifique

Source : INERA, 2012

II.1.1.2. Matériel viral en serre

Le matériel viral utilisé pour notre étude est un isolat non contournant de RYMV provenant du Burkina Faso (BF1) et appartenant à la souche S1. Cet isolat présente une très forte agressivité. Ce choix nous permet de distinguer rapidement dans le temps la variété sensible de la variété partiellement résistante et d'identifier les mécanismes de résistance mis en jeu. Cet isolat a été multiplié sur la variété sensible IR64 et les feuilles virosées des jeunes plantes âgées de 30 jours ont été récoltées et congelées à -80°C, 15 jours après inoculation.

II.1.2. Méthodologie

II.1.2.1. Conditions de l'expérimentation

Les variétés de riz ont été semées dans une serre bien protégée et à l'abri des insectes et des oiseaux. Des bidons de 20L découpés en longueur et remplis de terre stérilisée ont été utilisés pour le semis des variétés de riz que sont IR64, Giganté et Nippombar. Les dix-huit (18) variétés de riz de la collection de riz de l'INERA ont été semées dans des pots en plastique remplis de terre au $\frac{3}{4}$ et numérotés de 1 à 18.

II.1.2.2. Multiplication du matériel viral

Afin de constituer le matériel viral nécessaire pour le criblage des variétés, un isolat viral a été multiplié par inoculation mécanique à de jeunes plants de la variété de riz IR64 sensible au RYMV. A cet effet, un mortier et un pilon stériles en porcelaine ont été utilisés. Chaque échantillon a été broyé dans du tampon phosphate à 0,01 M pH 7 selon le rapport 1:10 (1 g de feuille dans 10 ml de tampon). Du carborundum (600 mesh) a été ajouté au broyat. Les doigts, préalablement recouvert de gants ont été trempés dans le broyat, puis frottées légèrement sur les feuilles des jeunes plants de riz âgés de 14 jours. Les plantes ont été gardées dans la serre à l'abri des insectes pour l'observation des symptômes. Les feuilles des plantes infectées ont été utilisées pour les tests de criblage.

II.1.2.3. Détermination de la concentration optimale d'inoculum

D'une manière générale, les concentrations d'inoculum de RYMV 1 :5 (1 g de feuilles dans 5 ml de tampon) ou 1 :10 (1 g de feuilles dans 10 ml de tampon) sont utilisées pour le criblage variétal vis-à-vis du RYMV. Toutefois, des voix se lèvent (notamment les sélectionneurs) pour dire que les pathologistes surévaluent ces concentrations et qu'il est rare d'obtenir de telles concentrations sur les plantes en condition naturelle avec pour conséquence la déclaration de certaines variétés comme sensibles alors qu'elles seraient tolérantes ou même résistantes. C'est donc pour répondre à cette plainte, qu'avant le criblage, nous avons procédé à la détermination de la concentration idéale qui serait proche de ce qui se passe dans la nature. Pour ce faire, des dilutions successives de 1 :10 ; 1 :25 ; 1 :30 ; 1 :35 ; 1 :40 ont été utilisées pour inoculer les variétés IR64, Giganté et Nippombar comme précédemment.

II.1.2.4. Inoculation du RYMV aux plantes

Pour chaque échantillon, les jeunes plants ont été inoculés de façon mécanique 14 jours après semis à partir des extraits de feuilles fraîches obtenus. La concentration de 1 :10 a été utilisée pour le criblage. Les doigts, préalablement recouverts de gants ont été trempés dans le broyat, puis frottées légèrement sur les feuilles des jeunes plants. Ces derniers ont été gardés dans la serre à l'abri des insectes pour l'observation des symptômes.

II.1.2.5. Identification des plantes malades

L'identification des plantes malades sur l'ensemble des variétés de riz étudiées s'est faite sur la base de l'observation visuelle des symptômes du virus de la panachure jaune du riz.

Pour cela, l'apparition des symptômes du RYMV a été suivie et notée quotidiennement en utilisant l'échelle de notation des symptômes de l'IRRI (IRRI 2002). Tableau III.

Tableau III : Échelle de la notation de la sévérité des symptômes

Note	Teinte foliaire	Nanisme	Nature de résistance
0	Verte	Néant	Immune
1	Verte	Néant	Résistant
3	Verte avec des spots épars	Nanisme	Résistant
5	Vert léger, mosaïque distinctes légères	25%	Modérément résistant
7	jaune pâle	50%	Sensible
9	Jaune oranger, plante détruite	75%	Hautement sensible

Source : IRRI, 2002

II.1.2.6. Détection sérologique du RYMV

II.1.2.6.1. ELISA

L'observation visuelle des symptômes de la panachure jaune du riz comme indiqué dans le Tableau IV ne permet pas de dire de façon formelle qu'il s'agit ou non du virus de la panachure jaune du riz. C'est alors que le test ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) a été utilisé pour confirmer ou infirmer les résultats de la méthode par l'observation visuelle de symptômes. Le test ELISA a également l'avantage de détecter d'éventuelles infections asymptomatiques.

II.1.2.6.2. Principe et variante du test ELISA

Le test ELISA, *Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay*, est une technique immunoenzymatique en phase solide. Son principe repose d'une part sur la spécificité de la réaction entre un anticorps et l'antigène qui induit sa synthèse et d'autre part sur la révélation du complexe antigène-anticorps à l'aide d'une enzyme catalysant l'hydrolyse d'un substrat pour donner un produit coloré. La méthode ELISA est sensible, rapide, polyvalente et permet de tester plusieurs échantillons à la fois grâce à l'utilisation de plaques de microtitration à 96 puits. Le test ELISA existe sous plusieurs variantes. Dans la présente étude une variante de ce test a été utilisée. Il s'agit de la variante double anticorps sandwich directe ou DAS-ELISA (Clark et Adams, 1977).

Les principales étapes de ce test sont les suivantes :

- ✓ **Coating de la plaque:** l'anticorps de fixation (IgG anti RYMV-Mg) a d'abord été dilué dans du tampon carbonate 0,1 M pH 9,6 au 1/1000. 100µl de la solution d'anticorps dilué ont ensuite été déposés dans chaque puits. La plaque de microtitration a été incubée pendant 2 heures à 37°C. Enfin la plaque a été lavée trois fois avec du PBS-T afin d'enlever les anticorps non fixés.

- ✓ **Saturation de la plaque:** Afin de saturer les sites des parois où aucun anticorps ne se serait fixé, une solution de lait écrémé à 3% dans du PBS-T (Phosphate- Buffered Saline/tween) a été préparée puis 200µl de cette solution ont été déposés dans chaque cupule. La plaque a été incubée à 37°C pendant 30 mn. La plaque a été lavée trois fois au PBS-T.

- ✓ **Incubation de l'antigène:** 1 g de feuilles a d'abord été broyé dans 10 ml de tampon PBS-T contenant 2% de polyvinylpyrrolidone (PVP 40). Ensuite l'extrait a été centrifugé à 8000 rpm pendant 10 mn. Puis 100µl de surnageant ont été déposés par puits. La plaque a été incubée 2 heures à 37°C. La plaque a été lavée trois fois au PBS-T.
- ✓ **Incubation du conjugué (IgG goat anti rabbit, GAR-Pal):** une dilution de l'anticorps conjugué à 1/1000 dans le tampon anticorps (lait écrémé à 1% dans le tampon) a été effectuée. Ensuite 100µl ont été déposés par puits. Puis, la plaque a été incubée 2 heures à 37°C. Enfin, la plaque a été lavée avec du PBS-T.
- ✓ **Incubation du substrat de la phosphatase alcaline (pNPP):** une dilution des cachets de pNPP à 1 mg /ml dans du tampon diethanolamine a d'abord été effectuée. Ensuite, 100µl ont été déposés par puits. Puis, la plaque a été incubée 2 heures à 37°C à l'obscurité.
- ✓ **Lecture de la plaque de microtitration au spectrophotomètre:** Le lecteur de plaque de type Metertech Σ960 a été utilisé pour la lecture de la plaque à DO A 405 nm. Une première lecture a été effectuée à 30 mn puis une heure après, une seconde lecture de la plaque a été réalisée.
Le test ELISA a été déclaré positif lorsque la densité optique (DO) de l'échantillon a été au moins supérieure à trois fois la moyenne de celle du témoin sain.

II.2. Résultats-Discussion

II.2.1. Résultats

II.2.1.1. Evaluation du comportement des variétés de riz vis-à-vis du RYMV

II.2.1.1.1. Détermination de la concentration idéale nécessaire pour le criblage des variétés de riz

L'inoculation des trois variétés témoins avec différentes concentrations d'inoculum de RYMV a permis d'obtenir des résultats consignés dans le tableau IV. Quelle que soit la concentration utilisée, les réponses sont similaires pour chacune des trois variétés aussi bien à 14 JAI qu'à 21 JAI. En effet, chacune des concentrations induit un taux d'infection de 100 % sur la variété sensible IR64. De la même manière, la variété résistante Giganté demeure résistante pour toutes

les concentrations enregistrant un taux d'infection de 0%. Des taux d'infection de 40 à 50 % ont été observés pour la variété tolérante Nippombar.

Tableau IV : Réaction des variétés de riz vis-à-vis du RYMV

Concentration inoculum	Variétés	Pourcentage d'infection		Niveau de réaction
		14 JAI	21 JAI	
1/10	IR64	100	100	Hautement Sensible
	Giganté	00	00	Résistant
	Nippombar	40	40	Tolérant
1/25	IR64	100	100	Hautement Sensible
	Giganté	00	00	Résistant
	Nippombar	40	40	Tolérant
1/30	IR64	100	100	Hautement Sensible
	Giganté	00	00	Résistant
	Nippombar	41,66	41,66	Tolérant
1/35	IR64	100	100	Hautement Sensible
	Giganté	00	00	Résistant
	Nippombar	50	50	Tolérant
1/40	IR64	100	100	Hautement Sensible
	Giganté	00	00	Résistant
	Nippombar	40	40	Tolérant

Source : Données de l'étude 2013

II.2.1.1.2. Criblage des variétés de riz vis-à-vis du RYMV

En utilisant l'isolat virulent mais non contournant, appartenant au sérotype S1, toutes les variétés, à l'exception du témoin Giganté, ont développé des symptômes caractéristiques de la panachure jaune du riz et cela à des degrés différents. Les variétés témoins Nippombar et IR64 se sont montrées modérément résistante et sensible respectivement. Les résultats sont consignés dans le Tableau V. Ainsi, l'analyse des résultats relatifs à la sévérité des symptômes basée sur l'échelle de l'IRRI a révélé une différence entre les variétés. Pour les variétés à évaluer, les indices de sévérité moyenne des symptômes enregistrés sont compris entre 2,5 et 9. Trois (3) variétés ont présenté une assez bonne résistance au RYMV caractérisée par des symptômes frustes et des scores moyens de sévérité variant entre 4,8 et 5,24. Trois (3) autres variétés soit 16,66 % du total ont présenté une résistance au RYMV. Il s'agit de NIL 130, NIL 16, WAB 2098. Ces variétés ont enregistré des scores moyens de sévérité variant entre 2,5 et 3 avec des délais d'apparition des symptômes assez tardifs compris entre 14 et 25 JAI.

Les 12 autres variétés, représentant 66,66 % du total, ont présenté des indices moyens de sévérité supérieurs à 6,4.

Trente (30) jours après inoculation, l'analyse des variétés y compris les témoins a permis de distinguer quatre (4) groupes en fonction de leur résistance au RYMV (Tableau V) :

- (i) Absence de symptômes (score 0) : 1 variété à résistance élevée dont Giganté
- (ii) Symptômes très faibles (score 1 à 3) : 3 variétés résistantes
- (iii) Symptômes moyens (score 5) : 4 variétés modérément résistantes dont le témoin nippombar
- (iv) Symptômes sévères (score 7) : 13 variétés sensibles dont le témoin sensible IR64

L'estimation de la teneur en virus des feuilles de riz chez les différentes variétés est rapportée dans le tableau V.

Tableau V: Comportement de différentes variétés de riz vis-à-vis du RYMV

Variétés	DAS	Sévérité moyenne des symptômes	Type de symptômes observés	ELISA	Réaction
Gigante*	0	0,00	Pas de symptômes	-	HR
NIL 54	11	4,80	Mosaïque	++	MR
NERICA 2	12	4,90	Stries	++	MR
Nippombar*	11	5,00	Stries	++	MR
IR 47	11	5,24	Jaunissement	++	MR
NIL 130	25	2,50	Stries	+	R
NIL 16	22	2,80	Stries	+	R
WAB 2098	14	3,00	Stries	+	R
IR 64*	6	9,00	Mort des plants, Nécrose	+++	HS
NIL 2	8	6,40	Stries	+++	S
FKR 62N	9	6,40	Jaunissement, Nécrose	+++	S
FKR 58N	7	6,80	Jaunissement, Nécrose	+++	S
FKR 19	9	6,80	Stries	+++	S
FKR 49	8	6,88	Chlorose, Nécrose	+++	S
FKR 45N	6	7,00	Chlorose	+++	S
FKR 47	7	7,00	Stries, mosaïque	+++	S
FKR 2	7	7,10	Jaunissement	+++	S
FKR 28	6	7,40	Jaunissement	+++	S
FKR 50	6	7,62	Stries	+++	S
FKR 60	9	8,90	Chlorose, stries	+++	S
TS2	10	9,00	Stries	+++	S

* : Témoins - : Absence du virus ; + : Présence du virus

++ : Forte présence du virus ; +++ : Très forte présence du virus

R : résistant, MR : modérément résistant, S : sensible, HS : hautement sensible

Source : Données de l'étude, 2013

II.2. Discussion

L'inoculation en serre de différentes concentrations d'inoculum viral à des variétés de riz cultivées ayant montré que toutes les concentrations utilisées permettent de discriminer le statut des variétés de référence (témoins sensible, tolérant et résistante), la concentration de 1 :10 a été choisie pour le criblage variétal.

L'évaluation du comportement visait à identifier des sources naturelles de résistance/tolérance au RYMV. Les infections RYMV variant de façon aléatoire d'une année à une autre, le criblage pour la résistance/tolérance au RYMV en plein champ est difficile. Pour cette raison, 18 variétés de riz ont été évaluées par inoculation mécanique en serre.

Nos résultats ont montré que la majorité des géotypes testée est sensible au RYMV. Cela indique la sensibilité générale des variétés de riz vis-à-vis du RYMV et met en exergue la contrainte majeure que constitue ce virus pour la production rizicole.

L'inoculation de ces variétés de riz à cette concentration sur la base des symptômes foliaires a permis de distinguer des groupes de variétés avec différents niveaux de sensibilité au RYMV à savoir les variétés sensibles, tolérantes et résistantes. 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).

Au niveau des variétés dites sensibles parmi les variétés testées au cours de cette étude, la maladie a entraîné la mort de certains plants due à la sévérité des symptômes. C'est le cas de la variété IR64.

Les variétés TS2, NIL2, FKR2, FKR19, FKR28, FKR45, FKR50, FKR58, FKR60, ont présenté une sensibilité élevée à 14 JAI, avec des pourcentages d'infection compris entre 80% et 95%. Des stries blanchâtres bien visibles et distinctes étaient déjà observables à cette date. Ces résultats témoignent de la virulence élevée de l'isolat utilisé pour inoculer les différentes variétés mais aussi indiquent que la majorité des variétés de riz sont sensibles au RYMV. Des auteurs comme Thottappilly et Rossel, 1993 ; Konaté *et al.*, 1997 ; Kouassi *et al.*, 2005 ; Mogga *et al.*, 2012 ont obtenus des résultats similaires au cours de leurs différents travaux mais la tendance actuelle dans la lutte contre le RYMV est la création de variétés cumulant la résistance partielle et la résistance élevée (Albar, 1998; Ndjondjop *et al.*, 1999; Albar *et al.*, 2006). Les variétés FKR47, FKR49 et FKR62 ont présenté des symptômes douteux de panachure jaune du riz, tandis que les variétés Giganté, NIL 130, NIL 16 et WAB 2098, elles montraient

Une résistance élevée car aucun plant de riz n'était infecté à 14 JAI. Mais les symptômes s'amplifient au fur et à mesure que les jours passent.

C'est le cas des variétés FKR47, FKR49, et FKR62 qui ont commencé à développer des symptômes caractéristiques de la panachure jaune à 21JAI avec une sévérité moyenne des symptômes comprise entre 6 et 7 permettant de les qualifier de variétés sensibles au même titre que celles ayant présentées des symptômes à 14JAI.

Quant à la variété NERICA 2, aucun signe de la maladie n'a été détecté même à 21JAI contrairement aux variétés NIL 54, Nippombar, et IR47 qui ont montré un faible pourcentage d'infection, donc présentent une faible résistance face au virus de la panachure jaune du riz. Le test ELISA a révélé que ces variétés en plus de la variété NERICA 2 n'ayant pas présenté des symptômes apparents de panachure jaune à 21 JAI portaient cependant le virus. Ce qui permet de les classer dans le groupe des variétés modérément résistantes. La détection de variétés sans symptômes apparents mais infectées par le RYMV permet de mettre en évidence l'existence d'infections asymptomatiques au niveau des variétés testées. Cet état de fait montre les limites de la symptomatologie comme outil de diagnostic. En plus, des études menées par des auteurs comme Thottappilly et Rossel, (1993) ont montré que certaines carences minérales (en fer par exemple) provoquent des symptômes de jaunissement pouvant être confondus avec les symptômes induits par le RYMV. Des résultats similaires ont été obtenus par plusieurs auteurs qui ont montrés que le RYMV est capable d'infecter des plantes hôtes ou des cultivars de riz sans symptômes visibles (Bakker, 1974; Traoré *et al.*, 2008). La variété de riz pluvial NERICA 2 présumée résistante à la plupart des principales maladies du riz en Afrique (ADRAO, 2000), s'est révélée tolérante au RYMV au cours de nos travaux. Cette réaction contrastée s'expliquerait par la différence de l'inoculum viral utilisé. En effet, plusieurs autres études ont permis de suspecter l'inoculum viral utilisé comme responsable des réactions différentielles observées pour une même variété (Abo *et al.*, 1998 ; Coulibaly, 1999 ; N'guessan *et al.*, 2001). Ces réactions différentielles suggèrent que la pression parasitaire n'est pas la même partout, ce qui se traduit par une diversité de virulence comme indiqué par Konaté *et al.*, (1997). En conséquence, les notions de sensibilité, tolérance et résistance doivent être considérées avec beaucoup d'attention du fait des conditions environnementales différentes.

Parmi les variétés classées tolérantes, certaines sont certes détectées positives au test ELISA mais le fait qu'elles n'aient pas présenté de symptômes ou qu'elles les aient présenté tardivement laisse penser qu'elles renfermeraient des sources de résistance au RYMV. C'est pour cette raison que les variétés ayant révélées des infections asymptomatiques ont été proposées comme renfermant des sources de résistances. Ces sources de résistance ont été

malheureusement vaincues ici soit à cause de la nature de la souche virale utilisée à l'occasion, soit à cause du phénomène de contournement de résistance partielle. Ainsi, ce retard observé dans l'expression des symptômes de la virose constitue un avantage exploitable dans la perspective de la création de variétés à résistances pyramidées (Nicaise *et al.*, 2009).

L'efficacité de la méthode d'inoculation par friction manuelle des feuilles par rapport aux autres méthodes notamment la méthode d'inoculation à l'aide de ciseau (Bouet *et al.*, 2001) fait de la méthode d'inoculation par friction la plus adoptée pour le criblage des variétés de riz.

Les travaux de Sorgho *et al.* (2005) sur le déterminisme écologique du contournement de la résistance au RYMV ont révélé que la concentration en inoculum est un facteur clé de l'infection.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La panachure jaune du riz et son virus, le RYMV sont considérés comme la principale contrainte biotique pour la riziculture en Afrique sub-saharienne. La lutte contre cette maladie passe par une bonne connaissance de son épidémiologie. Cet aspect de la maladie a souvent été abordé par les méthodes classiques d'études concernant le diagnostic, l'identification des plantes réservoirs et des vecteurs, la détermination des conditions favorables au développement des épidémies etc. Les résultats obtenus indiquent qu'une bonne reconnaissance des symptômes est un atout précieux pour l'identification du RYMV, notamment lors de l'évaluation de l'incidence de la panachure jaune du riz au champ.

En effet, l'inspection des champs de riz installés dans les plaines rizicoles de la Vallée du Kou et de Bazon a mis en évidence la présence de plantules de riz infectés par le RYMV. Ce qui laisse croire que les pépinières étaient déjà attaquées par le RYMV lors des différents repiquages. Or, il a été montré par les mêmes travaux qu'il était possible de provoquer une épidémie en repiquant une pépinière où seulement 2,5% de plantules étaient infectés. L'étude menée dans ces deux plaines, montre que la date de repiquage joue un rôle capital dans la propagation du RYMV dans les champs. Ainsi, l'ajustement des dates de semis/repiquage est l'une des pratiques culturales la plus importante à même de minimiser les infections dues au RYMV. La présente étude a révélé que le repiquage du 21-31 juillet ainsi que ceux tardifs intervenues à partir de septembre permettent de réduire considérablement les risques d'infection RYMV. Ces dates peuvent donc être recommandées aux producteurs afin d'éviter ou de réduire la propagation du RYMV au champ.

En effet, le repiquage tardif serait un moyen de juguler la dissémination du RYMV dans les champs.

La bonne protection des pépinières ou des champs de riz contre les infections précoces constitue une contribution majeure dans la lutte contre le RYMV.

Les résultats obtenus lors de l'étude de l'effet des dates de repiquage sur l'infection du RYMV au champ peuvent être vulgarisés auprès des producteurs afin de lutter efficacement contre la maladie de la panachure jaune du riz.

En effet, les virus évoluent au fil du temps à la faveur d'une perturbation de l'écosystème notamment l'introduction de nouvelles espèces et des changements dans les pratiques culturales, de telle sorte qu'un virus ne causant pas de dommages sur les cultures cette année peut devenir un problème majeur l'année suivante.

Le RYMV, pathogène responsable de la panachure jaune du riz en est un parfait exemple. 46

Le test de criblage conduit au cours de ce travail a permis d'identifier des caractéristiques variétales intéressantes. Sur 18 variétés testées, 12 dont TS2, NIL2, FKR2, FKR19, FKR28, FKR45, FKR50, FKR58, FKR60, FKR47, FKR49, et FKR62 ont été identifiées sensibles, 3 dont NIL 130, NIL 16 et WAB 2098 résistantes et 3 dont NIL 54, NERICA 2 et IR47 se sont révélées être tolérantes au regard de leur teneur en virus à 14 JAI et à 21 JAI, de la sévérité des symptômes qu'elles ont exprimés et tout en tenant compte du retard qu'elles ont accusé dans l'expression des symptômes. 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 doivent continuellement être conduits afin d'identifier de nouvelles variétés résistantes ou tolérantes pour pouvoir les affecter dans différentes zones en tenant compte des caractéristiques des isolats qui y prédominent.

L'utilisation d'espèces sauvages de riz et de riz cultivés africains (*O. glaberrima*) peut également être envisagée car elles représentent des réserves potentielles particulièrement importantes de gènes de résistance.

Notre connaissance des épidémies de panachure reste relativement limitée. Les recherches futures devraient être axées sur les points suivants : (a) l'écologie du RYMV et l'identification des sources d'inoculum primaire ; (b) la caractérisation des modes de contamination primaire et de propagation du virus au champ ; (c) le développement de méthodes intégrées de contrôle du virus.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abo, M., Sy, A., Alegbejo, M. (1998).** Rice yellow mottle (RYMV) in Africa: Evolution, distribution, economic significance and sustainable rice production and management strategies. *Journal of Sustainable Agriculture* **11**, 85-111.
- ADRAO, (1995).** Formation en production rizicole : manuel du formateur. Edition Sayce publishing. Royaume-Uni. 305p.
- ADRAO, (1996).** Rapport annuel. Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest. Mbé, Côte d'Ivoire. 59 p.
- Albar L., Lorieux M., Ahmadi N., Rimbault I., Pinel A., Sy A.A., Fargette D., Ghesquière A. (1998).** Genetic basis and mapping of the resistance to rice yellow mottle virus. I. QTLs Identify cation and relationship between resistance and plant morphology. *Theoretical and Applied Genetics*, **97**: 1145–1154.
- Albar, L., Ndjiondjop, M-N., Esshak, Z., Berger, A., Pinel, A., Jones, M., Fargette, D., Ghesquière, A. (2003).** Fine genetic mapping of a gene required for rice yellow mottle virus cell-to-cell movement. *Theoretical and Applied Genetics* **107**, 371-378.
- Albar L., Bangratz-Reyser M., Hébrard E., Ndjiondjop M., Jones M., Ghesquière A. (2006).** Mutations in the eIF (iso) 4G translation initiation factor confer high resistance of rice to Rice yellow mottle virus. *Plant Journal* **47**: 417-426.
- 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.
- Ali F. H., Abubakar Z. M. (1995).** Incidence of rice yellow mottle virus in Zanzibar. 1st Int. Sympos. Rice yellow mottle virus (RYMV), 1st. WARDA, Côte d'Ivoire. **80**, 21-27.
- Angladette A., (1966).** Le riz ; les techniques agricoles et productions tropicales. G-P. Maisonneuve et Larose. Paris, France. 930p.
- Anonyme (2011).** Analyse économique de la filière riz de France AgriMer. *Note de conjoncture* **37**, 1-4.
- Awoderu, V.A. (1991).** Rice yellow mottle virus in West Africa. *Tropical Pest Management* **37**:356–362.
- Bakker, W. (1970).** Rice yellow mottle, a mechanically transmissible virus disease of rice in Kenya. *Journal of Plant Pathology* **76**, 53-63.
- Bakker, W. (1974).** Characterization and ecological aspects of rice yellow mottle virus in Kenya. Thèse de doctorat, Université de Wageningen, Pays-Bas. **94**, 32-40.

Bakker, W. (1975). Rice yellow mottle virus. *Commonwealth Mycological Institute/Association of Applied Biologists Descriptions of plant viruses* **149**, 1-4.

Baulcombe DC (2000). Fast forward genetics based on virus-induced gene silencing. *Current Opinion in Plant Biology* **2**: 109-113.

Baulcombe D (2004). RNA silencing in plants. *Nature* **431**: 356-363.

Besançon G. (1993). Le riz cultivé d'origine Africaine *Oryza sativa* STEUD. et les formes sauvages et adventices apparentées : Diversité, Relations Génériques et Domestication. Thèse d'Etat, Université Paris-Sud, Orsay. Col. Etude et thèses. ORSTOM, Paris, 232 p.

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.

Brenière, J. (1983). Principal insect pests of rice in West Africa and their control. *Warda publication, Monrovia, Liberia.* **26**, 143-151.

Calvert, L. A., Koganezawa, H., Fargette, D., Konaté, G. (2003). Rice. Pages 269-294 in: Loebenstein G, Thottappilly G (eds). Virus and virus like diseases of major crops in developing countries. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht* **40**

Clark, M. F., Adams, A. N. (1977). Characteristics of the microplate method of ELISA for the detection of plant viruses. *Journal of General Virology* **34**, 475-483.

Coulibaly, M.M., G. Konaté, J.D. Zongo. (1999). Criblage variétal du riz pour la résistance au RYMV du Sahel. *Revue CAMES* **2**: (00) (sous presse).

DGPER (2009). Stratégie nationale de développement de la riziculture. Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique et des ressources halieutiques. Ouagadougou. 47 p

Dobelmann J. P., (1976). Riziculture pratique 1- riz irrigué, P.U.F., 229 p.

Faostat, (2011). www.fao.org/docrep/014/am491f/am491f00.pdf

Fargette, D., Pinel, A., Halimi, N., Brugidou, C., Fauquet, C. M., Van Regenmortel, M. H. V. (2002b). Comparison of molecular and immunological typing of isolates of rice yellow mottle virus. *Archives of Virology* **147**, 583-596.

Fargette, D., Pinel-Galzi, A., Traoré, O., Ghesquière, A., Konaté, G. (2002c). Emergence of resistance-breaking isolates of Rice yellow mottle virus during serial inoculations. *European Journal of Plant Pathology* **108**, 585-591.

Fauquet, C., Thouvenel, J. C. (1977). Isolation of the rice yellow mottle virus in Ivory Coast. *Plant Disease Reporter* **61**, 443-446.

Fauquet CM, Thouvenel JC, Fargette D, Fishpool LDC (1987). Rice stripe necrosis virus: a soil-borne rod-shaped virus. In: Cooper JI and Asher MJC (eds) *Developments in Applied Biology II. Viruses with Fungal Vectors* (pp 71–82) Assoc Appl Biol, Wellesbourne, UK

Fomba, S. N. (1988). Screening for seedling resistance to rice yellow mottle virus in some rice cultivars in Sierra Leone. *Plant Disease* **72**, 641-642.

Glaszmann, J. C. (1987). Isozyme and classification of Asian rice varieties. *Theoretical and Applied Genetics* **74**, 21-30.

GRIST D. H., (1975). Rice 5th edition. Tropical agriculture. Series longman. London and New York. **73**, 22-34.

Hébrard, E., Pinel-Galzi, A., Bersoult, A., Siré, 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.

Hébrard, E., Poulicard, N., Gérard, C., Traoré, O., Wu, Hui-Chen., Albar, L., Fargette, D., Bessin, Y., Vignols, F. (2010). Direct Interaction Between the Rice yellow mottle virus (RYMV) VPg and the Central Domain of the Rice eIF(iso)4G1 Factor Correlates with Rice Susceptibility and RYMV Virulence. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **23**, 1506–1513.

Heinrichs EA, Sy AA, Akator SK, Oyediran (1997). Seasonal occurrence of rice yellow mottle virus in lowland rice in Cote d'Ivoire. *International Journal of Pest Management* **43**: 291-297.

Hull, R. (1988). The *Sobemovirus* group. The plant viruses. Polyhedral virions with monopartite RNA genomes **3**: 113–146. Plenum Press, New York, USA.

I.N.E.R.A, (1994). Plan stratégique du CNRST. Programme riz et riziculture, Station de Farako-Bâ, Bobo-Dioulasso, 49 p.

INSD, (2013). Enquête Burkinabé sur les conditions de vie des ménages.

Ioannidou, D, J.M. Lett, A. Pinel, K. Assigbetse, C. Brugidou, A. Ghesquière, M. Nicole, D. Konaté, G., O. Traoré, M.M. Coulibaly. (1997). Characterization of rice yellow mottle virus isolates in soudano-sahelian areas. *Archives of Virology* **142**: 117–1124.

Ioannidou, D., Lett, J. M., Pinel, A., Assigbetse, K., Brugidou, C., Ghesquiere, A., Nicole, M., 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. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **57**, 177-188.

IRRI. (2002). Standard Evaluation System (SES) for rice: International Rice Research Institute. Los Banos, Laguna, The Philippines, **3rd** Edition, p. 23.

Ivan, W. B. (1983). Breeding strategies for stress and disease resistance in developing countries. *Annual Review of Phytopathology* **21**, 385-409.

- Jacquot, M., Clement, G., Ghesquière, A., Glaszmann, J. C., Guiderdoni, E., Tharreau, D. (1997).** Complete nucleotide sequence of the rice tungro sphenical virus genome of highly virulent strain Vt6. *Virus genes* **20**, 79-85.
- Jones, M. P., Dinkuhn, M., Aluko, G. K. (1997).** Interspecific *Oryza sativa* L / *O. glaberrima* Steud progenies in upland rice improvement. *Euphytica* **92**, 237-246.
- Khush, G. (1997).** Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. *Plant Molecular Biology* **35**, 25-34.
- Konaté, G., Traoré, O., Coulibaly, M. M. (1997).** Characterization of rice yellow mottle virus isolates in sudano-sahelian areas. *Archives of Virology* **142**, 1117-1124.
- Konaté, G., Sarra, S., Traoré, O. (2001).** Rice yellow mottle virus is seed-borne but not seed transmitted in rice seeds. *European Journal of Plant Pathology* **107**, 361-364.
- Kouassi, N. K., N'Guessan, P., Albar, L., Fauquet, C., Brugidou, C. (2005).** Distribution and characterization of Rice Yellow Mottle Virus: a threat to African farmers. *Plant Disease* **89**, 124-132.
- Kouassi, N. K., Chen, L., Siré, C., Bangratz-Reyser, M., Beachy, R. N., Fauquet, C. M., Brugidou, C. (2006).** Expression of rice yellow mottle virus coat 42 protein enhances virus infection in transgenic plants. *Archives of Virology* **151**, 2111-2122.
- Lecellier CH, Voinet O (2004).** RNA silencing: no mercy for viruses? *Immunological Reviews* **198**: 285-303.
- 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**, 1156-1169.
- Lomonosoff, G. P. (1995).** Pathogen-derived resistance to plant viruses. *Annual Reviews of Phytopathology* **33**, 323-343.
- Longue D.R.S., Pinel A., Semballa S., Zinga I., Fargette D., Traoré O. (2014).** First report of RYMV in Rice in the Central African Republic. APS, vol **98** Number 1: P. 162
- Louvel D., et Bidaux J. M., 1977.** Observation de nouveaux symptômes pathologiques sur des variétés précoces de riz en Côte-d'Ivoire. *Agronomie Tropicale*, **32**, 257-261
- Mansour, A. N., Baillis, K. W. (1994).** Serological relationship among rice yellow mottle virus. *Annals of Applied Biology* **125**, 133-140.
- MASA (2013).** Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012/2013. Ministère de l'Agriculture. Ouagadougou, p : 49.
- MED (2005).** Cadre strategique regional de lutte contre la pauvreté. Ouagadougou (burkina faso).

- N'Guessan, P., Pinel, A., Caruana, M., Frutos, R., Sy, A., Guesquière, A., Fargette, A. (2000).** Evidence of the presence of two serotypes of rice yellow mottle sobemovirus in Côte d'Ivoire. *European journal of plant pathology* **106**,167-178
- Nacro S., (1994).** Analyse d'un système tritrophique : la cécidomyie du riz et ses parasitoïdes au Burkina Faso. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes I, France 118p.
- Ndikumana I., Gasoré R., Issaka S., Pinel A., Onasanya A., Hassani-Mehraban A., Fargette D., Peters D. and Séré Y. (2011).** Rice yellow mottle virus in rice in Rwanda: First report and evidence of strain circulation. *New Disease Reports*, **23**: 18.
- Ndikumana I., Pinel A., Negussie Z., N'ChimbiMsolla S., Njau P., Singh R. K., Choi I. R., Bigirimana J., Fargette D., Hébrard E. (2012).** First report of Rice Yellow Mottle Virus on Rice in Burundi. *APS*, Vol. **96**, Number8: P. 1230
- Ndjiondjop, M. N., Albar, L., Fargette, D., Fauquet, C. M., Ghesquière, A. (1999).** The genetic basis of high resistance to rice yellow mottle virus (RYMV) in cultivars of two cultivated rice species. *Plant Disease* **83**, 931-935.
- Ndjiondjop, M. N., Brugidou, C., Shipping, Z., Fargette, D., Ghesquière, A., Fauquet, C. M. (2001).** High resistance to rice yellow mottle virus in two cultivated rice cultivars is correlated with the failure of cell-to-cell movement. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **59**, 309-316.
- Ngon A Yassi, M., Ritzenthaler, C., Brugidou, C., Fauquet, C. M., Beachy, R. N. (1994).** Nucleotide sequence and genome characterization of rice yellow mottle virus RNA. *Journal of General Virology* **75**, 249-257.
- Onasanya, A., Ekerigin, M.M, Nwilene, F.E., Séré Y., Onasanya, R.O. (2009).** Two pathotypes and *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* virulence identified in West Africa. *Current Research and Bacteriology*, **2**, 22-35.
- Opalka N, Tihova M, Brugidou C, Kumar A, Beachy R, Fauquet C, Yeager M (2000).** Structure of native and expanded sobemoviruses by electron cryomicroscopy and image reconstruction. *Journal of Molecular Biology* **303**: 197-211.
- Ou, S.H. (1985).** Rice disease. CAB, Commonwealth Mycology Institute, 2nd edition. Pages 52–53.
- Ouédraogo, I., Séré, Y. (1996).** La marbrure jaune du riz (Rice yellow mottle virus) : une nouvelle menace pour la riziculture au Burkina Faso. *Sahel IPM* **10**, 9-13. *Physiology Molecular Plant Pathology* **59**, 309-316.
- Pinel, A., N'Guessan, P., Bousalem, M., Fargette, D. (2000)** Molecular variability of geographically distinct isolates of Rice yellow mottle virus in Africa. *Archives of virology* **145**, 1621-1638.

Pinel-Galzi, A., Rakotomala, M., Sangu, E., Sorho, F., Kanyeka, Z., Traoré, O., Sérémé, D., Poulicard, N., Rabenantoandro, Y., Séré, Y., Konaté, G., Ghesquière, A., Hébrard, E., Fargette, D. (2007). Theme and variations in the evolutionary pathways to virulence of an RNA plant virus species. *Plos Pathogens* **3**, e 180.

Pinto, Y. M., Kok, R. A., Baulcombe, D. C. (1999). Resistance to rice yellow mottle virus (RYMV) in cultivated African rice varieties containing RYMV transgenes. *Nature Biotechnology* **17**, 702-707.

Qu, C., Liljas, L., Opalka, N., Brugidou, C., Yeager, M., Beachy, R. N., Fauquet, C. M., Johnson, J. E., Lin, T. (2000). 3D domain swapping modulates the stability of members of an icosahedral virus group. *Structure* **8**, 1095-1103.

Rakotomalala M., Pinel A., Albar L., Ghesquière A., Ramavovololona P R. Fargette D. (2008). Resistance to Rice yellow mottle virus in the rice germplasm in Madagascar European Journal. *Plant Pathology*, **122**: 277-286.

Raymundo, S.A. I.W. Buddenhagen. (1976). A virus disease in West Africa. *International Rice Commission Newsletter* **25**: 58.

Raymundo S. A. Konteh I. K. (1980). Distribution, importance, screening methods and varietal reaction to rice yellow mottle disease. *Rice Comm. New sl.*, **29**:5153

Sarra, S. (1998). Quelques aspects écologiques du virus de la panachure jaune du riz en zone soudano-sahélienne. Mémoire DEA. Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Sarra, S., Peters, D. S. S. (2003). Rice yellow mottle virus is transmitted by cows, donkeys, grass rats in irrigated rice crops. *Plant Disease* **87**, 804-808.

Sarra, S., Oevering, P., Guindo, S. P. D. (2004). Wind-mediated spread of Rice yellow mottle virus (RYMV) in irrigated rice crop. *Plant Pathology* **53**, 148-153. 44

Séré C. (2005). Effet du virus de la panachure jaune du riz sur l'extinction post-transcriptionnelle des gènes. : Application a la construction de vecteurs viraux chez le riz. Thèse de doctorat Université de Perpignan, France.

Sérémé D., Lacombe S., Konaté M., Pinel A., Traoré V., Hébrard E., Traoré O., Brugidou C., Fargette D., Konaté G. (2008). Biological and molecular characterization of a new putative sobemovirus infecting *Imperata cylindrica* and maize in Africa. *Archives of virology*, **153** : 1813-1820.

Sérémé, D. (2010). La protéine suppresseur P1 des virus de la panachure jaune du riz et du chiendent (*Imperata cylindrica*): diversité, étude fonctionnelle et applications en biotechnologies. Thèse d'Etat es science de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso, p :220.

Sérémé D., Néya B. J., Bangratz M., Brugidou C. Ouédraogo I. (2014). First Report of Rice stripe necrosis virus Infecting Rice in Burkina Faso. *Plant disease* Vol, **98**, N° 10: 1451

- Sorho, F., Pinel, A., Traoré, O., Bersoult, A., Siré, C., Ghesquiere, A., Hebrard, E., Konate, G., Séré, Y., Fargette, D. (2005).** Durability of natural and transgenic resistances in rice to Rice yellow mottle virus. *European Journal of Plant Pathology* **12**, 349-359.
- Tamm, T., Truve, E. (2000).** Sobemoviruses. *Journal of Virology* **74**, 6231-6241.
- Thibaud, B., Brondeau, F. (2001).** Une perspective de développement régional autour de l'Office du Niger est-elle envisageable ? *Sécheresse* **12**, 71-85.
- Thiémélé, D., Boisnard, A., Ndjiondjop, M-N., Chéron, S., Séré, Y., Aké, S., Ghesquière, A., Albar, L. (2010).** Identification of a second major resistance gene to Rice yellow mottle virus, RYMV2, in the African cultivated rice species, *O. Glaberrima*. *Theoretical and Applied Genetics* **121**, 169-179.
- Thottappilly, G., Rossel, H. W. (1993).** Evaluation of resistance to Rice Yellow Mottle Virus in *Oryza* species. *Indian Journal Virology* **9**, 65-73.
- Thottappilly, G., Hughes, J. d' A. (2001).** Development of serological techniques for detection of Rice yellow mottle virus. Pages 74-79 in : Sy AA, Hughes J, Diallo A , (eds). Rice yellow mottle virus (RYMV): Economic importance, diagnosis and management strategies. *Warda, Bouaké, Côte d'Ivoire*.
- Traoré, O., Pinel, A., Fargette, D., Konaté, G. (2001).** First report and characterization of Rice yellow mottle virus in Central Africa. *Plant Disease* **85**, 920. 45
- Traoré, O., Sorho, F., Pinel, A., Abubakar, Z., Banwo, O., Maley, J., Hebrard, E., winter, S., Sere, Y., Konate, G., Fargette, D. (2005).** Processes of diversification and dispersion of Rice yellow mottle virus inferred from large-scale and high-resolution phylogeographical studies. *Molecular Ecology* **14**, 2097–2110.
- Traoré, O., Traoré, M., Fargette, D., Konaté, G. (2006).** Rice seedbed as a source of primary infection by Rice yellow mottle virus. *European Journal of Plant Pathology* **115**, 181-186.
- Traoré, O. (2006b).** Ecologie, pathogénie et évolution du virus de la panachure du riz en zone soudano-sahélienne. Thèse d'Etat es science de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Traoré, O., Pinel-Galzi, A., Hébrard, E., Gumedzoé, Y.D., Fargette, D., Traoré, A. S., Konaté, G. (2006c)** Occurrence of Resistance-Breaking Isolates of Rice yellow mottle virus in West and central Africa. *Plant Disease* **90**, 259-263.
- Traoré A., Traoré D. (2008).** Abiotic transmission of Rice yellowmottle virus through soil and contact between plants. *Pakistan Journal of Biology Sciences* **11**, 900-904.
- Traoré, O., Pinel-Galzi, A., Sorho, F., Rakotomalala, M., Sangu, E., Kanyeka, Z., Séré, Y., Konaté, G., Fargette, D. (2009)** A reassessment of the epidemiology of *Rice yellow mottle virus* following recent advances in field and molecular studies. *Research* **141**, 258–267.

- Traoré, O., Pinel-Galz, A., Souley, I., Poulicard, N., Jamel, A., Aké, S., Ghesquière, A., Séré, Y., Konaté, G., Hébrard, E., Fargette, D. (2010).** The adaptation of Rice yellow mottle virus to the eIF (iso) 4G-mediated rice resistance. *Virology* **408**, 103-108.
- Traoré V. S. E. (2013).** Marker assisted selection for resistance to rice yellow mottle virus in farmer's preferred rice varieties in Burkina Faso. PhD, University of Ghana, p: 173.
- Van Regenmortel, M. H. V., Burckard, J. (1980).** Detection of a wide spectrum of tobacco mosaic virus strains by indirect enzyme-linked immunosorbent assay (ASSAY). *Virology* **106**, 327-334.
- Tresh JM (1982).** Cropping practices and virus spread. *Annual Review of Phytopathology* **20**: 193-218.
- Voinnet, O., Pinto, Y. M., Baulcombe, D. (1999).** Suppression of gene silencing: A general strategy used by diverse DNA and RNA viruses of plants. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA* **23**, 14147-14152.
- Wu S., Rinehart C., Kaesberg P. (1987).** Sequence and organization of southern bean mosaic virus genomic RNA. *Virology* **161**: 73-80.
- Yoshida S., (1981).** Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos-Laguna, Philippines. 269 p.

ANNEXES

I : Espèces de plantes hôtes du virus de la panachure jaune du riz

Espèces	Tribu	Références*
1. Hôtes artificiels		
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<i>Bromeae</i>	Bakker, 1974
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) P.Beauv	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>Dinebra retroflexa</i> (Vahl) panz.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>Digitaria sanguinalis</i> L Scop.	<i>Paniceae</i>	Awoderu, 1991
<i>Diplachne caudata</i> K. Schum.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv	<i>Paniceae</i>	Fomba, 1988 ; Awoderu, 1991b
<i>Eleusine coracana</i> (L.) Gaertn.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	<i>Eragrostideae</i>	Fomba, 1988 ; Okياما et Sarkarung 1983 ; Awoderu, 1991b
<i>Eragrostis aethiopica</i> Chiov.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. aspera</i> (Jacq.) Nees.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. chapelieri</i> (Kunth) Nees	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. cilianensis</i> (All.) Lut	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. ciliaris</i> (L.) R. Br.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. macilenta</i> (A.Rich.) Steud.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. namaquensis</i> Nees.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. pilosa</i> (L.) P. Beauv	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. tef</i> (Zucc.) Trotter	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. tenella</i> (L.) Roem. Et Schult.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974
<i>E. tenuifolia</i> (A.Rich.) Steud.	<i>Eragrostideae</i>	Bakker, 1974 ; Okياما et Sarkarung 1983 ; Awoderu, 1991b
<i>Oryza alta</i> Wallen	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. australiensis</i> Domin.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. brachyantha</i> A.Chev & Roehr.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. eichingeri</i> Peter	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974

<i>O. glandiglumis</i> (Doell) Prodh.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974 ; Awoderu, 1991b
<i>O. latifolia</i> Desv.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. minuta</i> C.B.Presl.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. nivara</i> Shara et Shastry	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. officinalis</i> Watt.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. punctae</i> Steud.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. ridleyi</i> Hook	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. rufipogon</i> Griff.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>O. spontanea</i> T.T.Chang	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	<i>Paniceae</i>	Awoderu, 1991b
<i>Phleum arenarium</i> L	<i>Phalarideae</i>	Bakker, 1974
<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv	<i>Paniceae</i>	Bakker, 1974
2. Hôtes naturels		
<i>Oryza sativa</i> L.	<i>Oryzeae</i>	Bakker, 1974
<i>Oryza glaberrima</i> Steud.	<i>Oryzeae</i>	Konaté <i>et al.</i> , 1997
<i>Oryza longistaminata</i> Chev & Roehr	<i>Oryzeae</i>	John <i>et al.</i> , 1984 ; Konaté <i>et al.</i> , 1997
<i>Oryza barthii</i> A.Chev.	<i>Oryzeae</i>	Konaté <i>et al.</i> , 1997
<i>Echinochloa colona</i> L. (Link)**	<i>Paniceae</i>	Konaté <i>et al.</i> , 1997 ; Heinrichs <i>et al.</i> , 1997
<i>Panicum repens</i> L.	<i>Paniceae</i>	Konaté <i>et al.</i> , 1997
<i>Eragrostis atrovirens</i> (Desf.) Steud.	<i>Eragrostideae</i>	Traoré, 2006

** *Echinochloa colona* a été identifié sur la base de symptômes de panachure.

Source : Traoré, 2006

II. Tampon utilisé pour l'inoculation du RYMV

□ Tampon phosphate à 0,05 M pH 7,0

-KH₂PO₄ : 2,4g

-K₂HPO₄ : 5,4g

-Dissoudre dans l'eau distillée et compléter le volume à 1 litre.

III. Tampons utilisés en ELISA

□ PBS (Phosphate Buffered Saline) pH 7,4

-Dissoudre dans 900 ml d'eau distillée:

-NaCl : 8g

-KH₂PO₄ : 0,2g

-Na₂HPO₄, 2H₂O : 1,44g

-KCl : 0,2g

-Ajuster le pH à 7,4 et compléter le volume à 1 litre avec de l'eau distillée.

□ **PBS-Tween (PBS-T)** : Tampon PBS contenant 0,05% de Tween 20 (C₅₆H₁₁₄O₂₆).

□ **Tampon de coating** : tampon carbonate 50 mM, pH 9,6

-Dissoudre dans 900 ml d'eau distillée :

-Na₂CO₃ : 1,59 g

-NaHCO₃ : 2,93 g

-Ajuster le pH à 9,6 et compléter à 1 litre avec de l'eau distillée.

□ **Tampon antigène** : Tampon PBS-T contenant 2% de Polyvinylpyrrolidone (PVP 40)

□ **Tampon anticorps** : Tampon antigène contenant 1% de lait écrémé

□ **Tampon substrat** :

-Diethnolamine (C₄H₁₁NO₂) : 97 ml

-H₂O : 800 ml

-Ajuster le pH à 9,8 avec du HCl et compléter à 1 litre avec de l'eau distillée.

IV. Étapes du test DAS_ELISA :

- **Coating de la plaque :** l'anticorps de fixation (IgG anti RYMV-Mg) a d'abord été dilué dans du tampon carbonate 0,1 M pH 9,6 au 1/1000. 100 µl de la solution d'anticorps dilué ont ensuite été déposés dans chaque puits. La plaque de microtitration a été incubée pendant 2 heures à 37°C. Enfin la plaque a été lavée trois fois avec du PBS-T afin d'enlever les anticorps non fixés.

- **Saturation de la plaque:** Afin de saturer les sites des parois où aucun anticorps ne se serait fixé, une solution de lait écrémé à 3% dans du PBS-T (Phosphate- Buffered Saline/tween) a été préparée puis 200 µl de cette solution ont été déposés dans chaque cupule. La plaque a été incubée à 37°C pendant 30 mn. La plaque a été lavée trois fois au PBS-T.

- **Incubation de l'antigène:** 1 g de feuilles a d'abord été broyé dans 10 ml de tampon PBS-T contenant 2% de polyvinylpyrrolidone (PVP 40). Ensuite l'extrait a été centrifugé à 8000 rpm pendant 10 mn. Puis 100µl de surnageant ont été déposés par puits. La plaque a été incubée 2 heures à 37°C. La plaque a été lavée trois fois au PBS-T.

- **Incubation du conjugué (IgG goat anti rabbit, GAR-Pal):** une dilution de l'anticorps conjugué à 1/1000 dans le tampon anticorps (lait écrémé à 1% dans le tampon) a été effectuée. Ensuite 100µl ont été déposés par puits. Puis, la plaque a été incubée 2 heures à 37°C. Enfin, la plaque a été lavée avec du PBS-T.

- **Incubation du substrat de la phosphatase alcaline (pNPP):** une dilution des cachets de pNPP à 1mg /ml dans du tampon diethanolamine a d'abord été effectuée. Ensuite, 100µl par puits ont été déposés. Puis, la plaque a été incubée 2 heures à 37°C à l'obscurité.

- **Lecture de la plaque de microtitration au spectrophotomètre:** Le lecteur de plaque de type Metertech Σ960 a été utilisé pour la lecture de la plaque à DO A 405 nm. Une première lecture a été effectuée à 30 mn puis une heure après, une seconde lecture de la plaque a été réalisée.

V. Fiche d'enquête

Fiche d'enquête			
Identifiant parcelle	Propriétaire Nom : Prénom : Téléphone 1: Téléphone 2 :		
Infos collecte de données Date : Collecteurs :		(Continuation of Propriétaire information)	
Identifiant de la parcelle			
Zone (Nom du périmètre irrigué ou du village le plus proche)			
Superficie de la parcelle :			
Localisation géographique (Coordonnées GPS des 4 cotés de la parcelle) :			
Coté	N	W	Alt
Itinéraire cultural			
Type de riziculture : <input type="checkbox"/> irrigué, <input type="checkbox"/> bas-fond, <input type="checkbox"/> pluvial			
Variété cultivée :			
Origine des graines : Justification choix variété :			
Date de semis :/...../.....			

Date de repiquage :/...../.....

Fertilisants utilisés : (Type, fréquence d'application, formule si possible, dose, etc)

.....

Traitements phytosanitaires utilisé : (Type, fréquence d'application, nom du produit, etc)

.....

Commentaires éventuels du producteur : *Aléas climatiques ou ravageurs éventuels cette saison ou la précédente...*

.....

Etat d'enherbement :

Nettoyage des diguettes et des caniveaux : oui non

Infection RYMV

Présence RYMV : oui non

Symptômes RYMV présents : nécrose, chlorose, jaunissement, stries

Pourcentage approximatif d'infection RYMV