

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU MALI

\*\*\*\*\*

Un peuple - Un but- Une foi

UNIVERSITE DES SCIENCES DES TECHNIQUES ET DES



**U.S.T.T.B**

TECHNOLOGIES DE BAMAKO



**FACULTE DE PHARMACIE**

Année universitaire : 2019-2020

Thèse N°.....

**ETUDE DE LA DISTRIBUTION DU VIRUS DE LA  
PANACHURE JAUNE DU RIZ AU MALI PAR LA  
METHODE SEROLOGIQUE**

**THESE**

Présentée et soutenue publiquement le .../.../ 2021 à la Faculté de Pharmacie  
pour l'obtention du grade de DOCTEUR EN PHARMACIE

(DIPLOME D'ETAT)

Par

**M. Boubacar MACALOU**

**JURY**

**Président** : Professeur Ababacar I MAIGA (Faculté de Pharmacie)

**Membres** : Docteur Mamadou L DIARRA (Faculté de Pharmacie)

Docteur Cheick TEKETE (Faculté des Sciences Techniques)

**Co-directeur de thèse** : Monsieur Ibrahim KEITA (Faculté de Médecine et  
d'Odonto-Stomatologie)

**Directeur de thèse** : Professeur Ousmane KOITA (Faculté de Pharmacie)

# LISTE DES ENSEIGNANTS DE LA FACULTÉ DE PHARMACIE

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2019-2020

## ADMINISTRATION

**Doyen** : Boubacar TRAORE / Professeur

**Vice-doyen** : Sékou BAH / Maître de Conférences

**Secrétaire principal** : Seydou COULIBALY, Administrateur Civil

**Agent comptable** : Ismaël CISSE, Contrôleur des finances.

## PROFESSEURS HONORAIRES

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Flabou	BOUGOUDOGO	Bactériologie-Virologie
2	Boubacar Sidiki	CISSE	Toxicologie
3	Mahamadou	CISSE	Biologie
4	Daouda	DIALLO	Chimie Générale et Minérale
5	Souleymane	DIALLO	Bactériologie-virologie
6	Kaourou	DOUCOURE	Physiologie
7	Ousmane	DOUMBIA	Chimie thérapeutique
8	Boukassoum	HAÏDARA	Législation
9	Gaoussou	KANOUTE	Chimie analytique
10	Alou A.	KEÏTA	Galénique
11	Mamadou	KONE	Physiologie
12	Mamadou	KOUMARE	Pharmacognosie
13	Brehima	KOUMARE	Bactériologie/Virologie

14	Abdourahamane S	MAÏGA	Parasitologie
15	Saidou	MAÏGA	Législation
16	Elimane	MARIKO	Pharmacologie
17	Sékou Fantamady	TRAORE	Zoologie

DER : SCIENCES BIOLOGIQUES ET MÉDICALES

1. PROFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Mounirou	BABY	Hématologie
2	Bakary Mamadou	CISSE	Biochimie
3	Abdoulaye	DABO	Biologie-parasitologie
4	Mahamadou	DIAKITE	Immunologie-Génétique
5	Alassane	DICKO	Santé Publique
6	Abdoulaye	DJIMDE	Biologie / Parasitologie
7	Amagana	DOLO	Parasitologie-Mycologie
8	Akory Ag	IKNANE	Santé publique/ Nutrition
9	Ousmane	KOÏTA	Biologie-Moléculaire
10	Boubacar	TRAORE	Parasitologie-Mycologie

2. MAITRES DE CONFÉRENCES/MAITRES DE RECHERCHE

N°	PRENOMS	NOMS	SPECIALITE
1	Aldjouma	GUINDO	Hématologie

2	Kassoum	KAYENTAO	Santé publique/Bio statistique
3	Bourèma	KOURIBA	Immunologie <b>chef de DER</b>
4	Issaka	SAGARA	Bio-statistique
5	Mahamadou Soumana	SISSOKO	Bio-statistique
6	Ousmane	TOURE	Santé publique/ Santé environnement

### 3. MAITRES ASSISTANTS / CHARGES DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Mohamed	AG BARAIKA	Bactériologie-Virologie
2	Charles	ARAMA	Immunologie
3	Boubacar Tiétiè	BISSAN	Biologie Clinique
4	Djibril Mamadou	COULIBALY	Biologie Clinique
5	Seydou Sassou	COULIBALY	Biologie Clinique
6	Antoine	DARA	Biologie Moléculaire
7	Souleymane	DAMA	Parasitologie-Mycologie
8	Djénéba Koumba	DABITAO	Biologie Moléculaire
9	Laurent	DEMBELE	Biotechnologie Microbienne
10	Klétigui Casimir	DEMBELE	Biochimie Clinique
11	Seydina S. A.	DIAKITE	Immunologie
12	Yaya	GOITA	Biologie Clinique
13	Ibrahima	GUINDO	Bactériologie-Virologie
14	Aminatou	KONE	Biologie Moléculaire

15	Birama Apho	LY	Santé Publique
16	Almoustapha Issiaka	MAIGA	Bactériologie-Virologie
17	Dinkorma	OUOLOGUEM	Biologie Cellulaire
18	Fanta	SANGHO	Santé publique/Santé communautaire
19	Oumar	SANGHO	Epidémiologie

#### 4. ASSISTANTS / ATTACHES DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Djénéba	COULIBALY	Nutrition/ Diététique
2	Issa	DIARRA	Immunologie
3	Fatou	DIAWARA	Epidémiologie
4	Merepen dit Agnès	GUINDO	Immunologie
5	Falaye	KEITA	Santé publique/Santé environnement
6	N'Deye Lallah Nina	KOITE	Nutrition
7	Amadou Birama	NIANGALY	Parasitologie-Mycologie
8	Djakaridia	TRAORE	Hématologie

#### DER : SCIENCES PHARMACEUTIQUES

##### 1. PROFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Drissa	DIALLO	Pharmacognosie
2	Rokia	SANOOGO	Pharmacognosie <b>Chef de DER</b>

## 2. MAITRES DE CONFÉRENCES / MAITRES DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	SPÉCIALITÉS
	- Néant - -		

## 3. MAITRES ASSISTANTS / CHARGÉS DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Loséni	BENGALY	Pharmacie hospitalière
2	Bakary Moussa	CISSE	Galénique
3	Yaya	COULIBALY	Législation
4	Issa	COULIBALY	Gestion
5	Balla Fatogoma	COULIBALY	Pharmacie hospitalière
6	Mahamane	H Aidara	Pharmacognosie
7	Hamma Boubacar	MAIGA	Galénique
8	Moussa	SANO GO	Gestion
9	Adiaratou	TOGOLA	Pharmacognosie

## 4. ASSISTANTS / ATTACHÉS DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Seydou Lahaye	COULIBALY	Gestion Pharmaceutique
2	Daouda Lassine	DEMBELE	Pharmacognosie
3	Adama	DENOU	Pharmacognosie
4	Sékou	DOUMBIA	Pharmacognosie

5	Assitan	KALOGA	Législation
6	Ahmed	MAÏGA	Législation
7	Aïchata Ben Adam	MARIKO	Galénique
8	Aboubacar	SANGHO	Législation
9	Bourama	TRAORE	Législation
10	Karim	TRAORE	Sciences Pharmaceutique
11	Sylvestre	TRAORE	Gestion Pharmaceutique
12	Aminata Tiéba	TRAORE	Pharmacie hospitalière
13	Mohamed dit Sarmoye	TRAORE	Pharmacie hospitalière

## DER : SCIENCES DU MEDICAMENT

### 1. PROFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Benoit Yaranga	KOUMARE	Chimie Analytique
2	Ababacar I.	MAÏGA	Toxicologie

### 2. MAITRES DE CONFÉRENCES / MAITRES DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	SPÉCIALITÉS
1	Sékou	BAH	Pharmacologie, <b>Chef de DER</b>

### 3. MAITRES ASSISTANTS / CHARGES DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOM	SPÉCIALITÉS
----	---------	-----	-------------

1	Dominique Patomo	ARAMA	Pharmacie Chimique
2	Mody	CISSE	Chimie thérapeutique
3	Ousmane	DEMBELE	Chimie thérapeutique
4	Tidiane	DIALLO	Toxicologie
5	Madani	MARIKO	Chimie Analytique
6	Hamadoun Abba	TOURE	Bromatologie

#### 4. ASSISTANTS / ATTACHÉS DE RECHERCHE

N°	PRÉNOMS	NOMS	SPÉCIALITÉS
1	Mahamadou	BALLO	Pharmacologie
2	Dalaye Bernadette	COULIBALY	Chimie Analytique
3	Blaise	DACKOUO	Chimie Analytique
4	Fatoumata	DAOU	Pharmacologie
5	Abdourahamane	DIARA	Toxicologie
6	Aiguerou dit Abdoulaye	GUINDO	Pharmacologie
7	Mohamed El Béchir	NACO	Chimie Analytique
8	Mahamadou	TANDIA	Chimie Analytique
9	Dougoutigui	TANGARA	Chimie Analytique

#### DER : SCIENCES FONDAMENTALES

##### 1. PROSEFESSEURS / DIRECTEURS DE RECHERCHE

N°	PRENOMS	NOMS	SPECIALITE

1	Mouctar	DIALLO	Biologie/ <b>Chef de DER</b>
2	Mahamadou	TRAORE	Génétique

## 2. MAITRES DE CONFERENCE / MAITRES DE RECHERCHE

N°	PRENOMS	NOMS	SPECIALITES
1	Lassana	DOUMBIA	Chimie Appliqué

## 3. MAITRES ASSISTANTS / CHARGES DE RECHERCHE

N°	PRENOMS	NOMS	SPECIALITE
1	Mamadou Lamine	DIARRA	Botanique-Biologie végétale
2	Abdoulaye	KANTE	Anatomie
3	Boureima	KELLY	Physiologie Médicale

## 4. ASSISTANTS / ATTACHES DE RECHERCHE

N°	PRENOMS	NOMS	SPECIALITE
1	Seydou Simbo	DIAKITE	Chimie Organique
2	Modibo	DIALLO	Génétique
3	Moussa	KONE	Chimie Organique
4	Massiriba	KONE	Biologie Entomologie

## 5. CHARGES DE COURS (VACATAIRES)

N°	PRENOMS	NOMS	SPECIALITE
----	---------	------	------------

1	Cheick Oumar	BAGAYOKO	Informatique
2	Babou	BAH	Anatomie
3	Souleymane	COULIBALY	Psychologie
4	Yacouba	COULIBALY	Droit commercial
5	Bouba	DIARRA	Bactériologie
6	Moussa I	DIARRA	Biophysique
7	Babacar	DIOP	Chimie
8	Aboubacary	MAIGA	Chimie organique
9	Massambou	SACKO	SCMP/SIM
10	Modibo	SANGARE	Anglais
11	Satigui	SIDIBE	Pharmacie Vétérinaire
12	Sidi Boula	SISSOKO	Histologie-embryologie
13	Fana	TANGARA	Mathématiques
14	Djénébou	TRAORE	Sémiologie et Pathologie médicale
15	Mamadou B	TRAORE	Physiologie
16	Boubacar	ZIBEIROU	Physique

*Merci Seigneur, de m'avoir permis de mener à bien ce travail.*

*Toutes mes pensées ne sauront trouver les mots justes qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance...*

*Aussi, c'est tout simplement que Je dédie ce travail,*

### **A mon très cher papa, Cheick Oumar**

Papa, tu as développé en nous le sens de l'honneur, de la dignité, du courage, du travail bien fait, de la logique du rationnel, et de la responsabilité. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu nous portes depuis notre enfance et j'espère que ta bénédiction nous accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de tes vœux tant formulés, le fruit de tes innombrables sacrifices, bien que je ne t'en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, t'accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne te déçoive.

### **A ma mère Fatoumata SIDIBE**

Nous ne savons comment t'exprimer toute notre gratitude et tout notre amour. Nous n'oublierons jamais tout le sacrifice que tu as fait pour nous au cours de ces longues années où nous t'avons sûrement causé beaucoup de peines alors que tu nous apprenais à voler de nos propres ailes. Merci maman.

### **A mon oncle Bourama MACALOU**

Cher oncle, les mots me manquent terriblement pour exprimer mes sentiments aujourd'hui. Tu as toujours été à mes côtés. Tu m'as appris le sens de la dignité, de l'honneur, du respect et de la probité. Tu as toujours été un exemple pour moi, car tu es un travailleur acharné, rigoureux, honnête et exigeant envers toi-même et les autres. Tes conseils et tes bénédictions ne m'ont jamais fait défaut, ainsi que tes soutiens financier, moral, affectif et matériel. Je veux te dire merci, pour toute la confiance que tu as placée en moi depuis le début de mon cycle, merci pour ce que tu as fait et pour tout ce que tu feras encore pour moi. Tonton que Dieu te bénisse et te donne une longue vie pleine de bonheur et de prospérité.

### **A toutes les agriculteurs !**

*Qu'il n'y a pas plus ancienne noblesse que les agriculteurs, c'était le métier d'Adam.*

*C'est à vous aussi que je dédie ce travail.*

## **REMERCIEMENTS**

« **DIEU** »

**Le TOUT PUISSANT, le CLEMENT, le MISERICORDIEUX.**

Nous te rendons grâce pour le don de notre vie, ton apport à la réalisation de ce travail et nous nous remettons à toi pour les défis à venir.

Que ce travail soit le reflet de ton amour incommensurable pour nous.

Que ta gloire règne à jamais.

Oh seigneur ! Permetts-nous de tirer un profit licite de ce travail et accorde-nous le savoir, la sagesse et les vertus qui rendront utile à l'humanité notre bref passage sur terre.

Seigneur, fasse que notre vie et nos actions soient conformes à tes préceptes.

Raffermiss notre foi.

A notre prophète **MOHAMED** que la paix et le salut de Dieu soient sur lui.

**A mes mamans, Amissetou DIAWARA et Korotoumou YIRANPO**

C'est avec une profonde reconnaissance à votre égard que je rédige ces quelques mots. Depuis à mon enfance jusqu'à nos jours, ce que vous avez fait pour moi est inestimable. Ce travail est le fruit de votre dévotion. Vos conseils me serviront pour toujours. Trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

**A mon frère et mes sœurs : Mahamadou, Djenèbou Tenin, et la benjamine Kadidiatou**

Que l'amour fraternel et la cohésion qui existent entre nous restent à jamais. Vous avez toujours été présent quand j'avais besoin de réconfort. Merci de m'avoir soutenu, que ce travail soit un exemple pour la future génération. Je prie le seigneur pour qu'il vous donne longue vie et vous aide dans vos projets. Amen

**A ma femme : Badiallo SIDIBE**

Femme de foyer, belle, intelligente, tu as été toujours près de moi dans les moments les plus difficiles, tu m'as toujours soutenu. Je te serai reconnaissant durant toute ma vie. Merci pour tout.

**A mes oncles et tantes :** j'ai reçu auprès de vous des conseils judicieux. Un grand merci à vous tous.

**A mes cousins et cousines :** Merci pour le respect que vous avez envers ma modeste personne ce travail doit être un exemple à suivre ; ce travail est le vôtre.

**A ma famille d'accueil depuis Poing G :** Famille **Dr KASSAMBARA Yacouba**, particulièrement à ma tante chérie **Mme KASSAMBARA Kadiatou SANOGO**, qui par vos

conseils votre amour, votre soutien tant moral que matériel avez permis que ce travail s'élabore et voit le jour. Qu'Allah vous donne longue vie dans la paix, Amen.

**A mes amis :** Mr KONATE Moussa, Dr SAMAKE Mohamed, Dr KAMISSOKO Yaya, Mr SIDIBE Abdoulaye, YENA Rahamatoulaye, Dr DEMBELE Abdoulaye, Djenèbou CISSE, Mr Katrino Mohamed, Mr DIALLO Alpha, Mr CISSE Baba El Hadji, Mr SANGARE Idrissa, Feu Bakary CAMARA, j'éviterai de citer d'autres noms par crainte d'en omettre, vous avez été mes compagnons de bataille durant ce cycle de médecine.

Je voudrais à travers ce travail vous dire que je vous aime. Ce travail est le fruit de vos conseils. Que nos liens s'affermissent d'avantage.

**A Tous mes maîtres et maitresses de l'école primaire jusqu'à l'université :** c'est aujourd'hui que j'apprécie mieux le métier combien fatigant mais combien noble d'enseignant. Sans vous que sera l'humanité : une immense obscurité. Qu'Allah bénisse d'avantage cette profession.

**Merci également à :**

- **Tous mes aînés pharmaciens et médecins**

- **Mes collègues thésards du LBMA**

- **Tout le personnel de la Pharmacie TENEMAN**

- **A tout le personnel du Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée** pour la gentillesse, leur franche collaboration et l'encouragement. Ce travail est le vôtre.

- **Tous ceux que je n'ai pu citer ici :** Par vos visages et vos noms, vous êtes dans mon cœur.

- **Mes voisins, mes jeunes frères académiques qui, d'une quelconque manière, m'ont apporté leur soutien, leur attention, leurs encouragements, leur appui et leur assistance pour que je puisse mener à terme ce travail,**

- **Toute la promotion Feu Professeur Albert Yénimégué DEMBELE. Je remercie Dieu de vous avoir mis sur mon chemin que Dieu fasse que nous réussissons tous dans notre vie de famille et professionnelle.**

## **HOMMAGE AUX MEMBRES DU JURY**

### **A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DU JURY**

#### **PROFESSEUR ABABACAR I. MAIGA**

- ❖ **Professeur titulaire de Toxicologie à la Faculté de Pharmacie ;**
- ❖ **Ancien Vice-Doyen de la Faculté de Pharmacie ;**
- ❖ **Ancien Directeur Adjoint de la Direction de Pharmacie et du Médicament (DPM) ;**
- ❖ **Directeur Adjoint de l'Institut National de Santé Publique (INSP).**

*Honorable maitre,*

*C'est un honneur pour nous de vous avoir comme président.*

*Nous sommes très sensibles de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider le jury de ce modeste travail. Nous avons admiré vos qualités scientifiques et pédagogiques. La clarté de votre enseignement et votre entière disponibilité font de vous un maitre respecté et un modèle à suivre.*

*Soyez assuré de notre profond respect et de notre extrême gratitude.*

*Puisse Allah le tout puissant vous accorder santé et longévité.*

## **A NOTRE MAITRE ET JUGE**

### **DOCTEUR MAMADOU LAMINE DIARRA**

❖ **Maître - Assistant en botanique à la Faculté de Pharmacie.**

❖ **En service au Département de Médecine Traditionnel (DMT)**

*Cher Maître, vous nous faites un grand honneur et un réel plaisir en acceptant de siéger dans ce jury de thèse.*

*Nous vous remercions de la simplicité et de la gentillesse avec lesquelles vous avez accepté de juger ce travail.*

*Vos critiques, vos suggestions et vos remarques contribueront sans doute à l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.*

*Permettez-nous cher Maître, de vous exprimer toute notre reconnaissance, notre gratitude, et notre sincère respect.*

**A NOTRE MAITRE ET JUGE**

**DOCTEUR CHEICK TEKETE**

- ❖ **Agronome/Phytopathologiste.**
- ❖ **Maître - Assistant en Agronomie à la Faculté des Sciences et Technique.**
- ❖ **Co-Directeur de l'unité Biotechnologie du Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée.**

*Cher maître,*

*Nous vous remercions d'avoir accepté de juger ce travail malgré vos multiples occupations.*

*Votre exigence et votre rigueur scientifique font de votre contribution un atout de bonne qualité scientifique pour ce travail.*

*Soyez ainsi rassuré de notre plus grande considération.*

**A NOTRE MAITRE ET CO-DIRECTEUR DE THESE**

**MONSIEUR IBRAHIM KEITA**

- ❖ **Assistant en Biologie Moléculaire à la Faculté de Médecine et d’Odonto-Stomatologie.**
- ❖ **Attaché de Recherche au Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée.**

*Cher maitre,*

*Vous nous faites un honneur en acceptant de co-diriger ce travail auquel vous avez été d’un apport capital.*

*Vos immenses qualités scientifiques et humaines, votre disponibilité et votre complicité avec vos élèves ne peuvent inspirer que respect et admiration.*

*Cher maître, soyez rassuré de notre profond attachement aux valeurs qui vous sont chères tels que le travail bien fait.*

*Recevez ici, cher maître, le témoignage de notre reconnaissance et nos sincères remerciements.*

**A NOTRE MAITRE ET DIRECTEUR DE THESE**

**PROFESSEUR OUSMANE KOITA**

- ❖ **Pharmacien Biologiste.**
- ❖ **Professeur titulaire en parasitologie moléculaire.**
- ❖ **Chargé des cours de biologie moléculaire appliquée à la FST et de biologie animale à la faculté de Pharmacie.**
- ❖ **Responsable du Laboratoire de Biologie Moléculaire et Appliquée de la FST.**

*Cher maitre,*

*Vous nous avez fait honneur en nous acceptant dans votre équipe. Au cours de l'élaboration de ce travail nous avons apprécié vos hautes qualités scientifiques et surtout humaines. Vous nous avez encre l'esprit d'équipe, de l'endurance, de la persévérance, du travail bien fait et surtout de la patience. Permettez-nous cher maitre de vous adresser l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.*

*Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**ADNc** : Acide désoxyribonucléique complémentaire

**ARN** : Acide ribonucléique

**CP** : Coat Protein

**DAS-ELISA** : Double Anticorps Sandwich Enzyme Linked Immuno-sorbent Assay

**ELISA** : Enzyme Linked Immuno-sorbent Assay

**IER** : Institut d'Economie Rurale

**LBMA** : Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée

**MCC** : Maximum Clade Credibility

**NIL** : Near Isogenic Lines

**Nts** : Nucléotides

**OPIB** : Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda

**ORF** : Open Reading Frame

**PCR** : Polymerase Chain Reaction

**PCV** : Période de Croissance des Végétaux

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**QTL** : Quantitative Trait Locus

**RT-PCR** : Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction

**RYMV** : Rice Yellow Mottle Virus

**Sat RNA** : Satellite Ribonucleic Acid

**SBMV** : Sobemovirus

**SEDIAG** : Société spécialisée dans le phytodiagnostic

**Vpg** : Virus protein genome-linked

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Teneurs en éléments nutritifs évaluées dans 100g de riz cuit.....	9
Tableau II : Répartition des échantillons en fonction de la nature de la plante collectée .....	33
Tableau III : Résultat du DAS-ELISA en fonction de la densité optique .....	35

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Morphologie du riz [21].....	7
<b>Figure 2</b> : Symptômes viraux, bactériens et fongique observés dans les rizières de l'Office du Niger à Niono (Photo prise le 24/10/2018).....	12
<b>Figure 3</b> : Symptômes de la maladie du RYMV observé dans les rizières de l'Office du Niger à Niono (Photo prise le 24/10/2018). .....	15
<b>Figure 4</b> : 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 ; B, structure tridimensionnelle de la particule obtenue par cristallographie aux rayons X [21].....	17
<b>Figure 5</b> : Phylogéographie du RYMV. <b>A</b> : Arbre phylogénétique construit selon la méthode maximum clade credibility (MCC) et annoté avec les temps de divergence estimés [63]......	20
<b>Figure 6</b> : Carte des trois régions présentant les sites d'étude. ....	26
<b>Figure 7</b> : Champs de riz de la variété Adny présentant les symptômes de RYMV à Fobougou. ....	31
<b>Figure 8</b> : Champ de riz de la variété de Kogoni présentant les symptômes de RYMV à Niono. ....	32
<b>Figure 9</b> : Photo de la plaque contenant des échantillons.....	34
<b>Figure 10</b> : Distribution des échantillons selon le résultat du test ELISA.....	36
<b>Figure 11</b> : Fréquences de RYMV dans les zones d'études selon les échantillons collectés. .	37

## TABLES DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJECTIFS</b> .....	<b>3</b>
2.1	OBJECTIF GENERAL .....	3
2.2	OBJECTIFS SPECIFIQUES .....	3
<b>3</b>	<b>GENERALITES</b> .....	<b>4</b>
3.1	GENERALITES SUR LE RIZ ET LA RIZICULTURE.....	4
3.1.1	<i>Botanique et taxonomie</i> .....	4
3.1.1.1	Description botanique .....	4
3.1.1.2	Systématique .....	5
3.1.1.3	Synonymes [21].....	5
3.1.1.4	Noms en langues locales .....	5
3.1.1.5	Répartition géographique et habitat .....	5
3.1.2	<i>Importance économique et alimentaire du riz</i> .....	8
3.1.3	<i>Riziculture au Mali</i> .....	10
3.2	GENERALITES SUR LES MALADIES DU RIZ EN AFRIQUE .....	10
3.2.1	<i>Le virus de la panachure jaune du riz</i> .....	13
3.2.1.1	Classification .....	13
3.2.1.2	Propriétés biologiques et physico-chimiques .....	13
3.2.1.3	Répartition géographique .....	13
3.2.1.4	Modes de transmission du RYMV .....	13
3.2.1.5	Symptômes .....	14
3.2.1.6	Structure du RYMV .....	16
3.2.1.7	Organisation génomique du RYMV .....	18
3.2.1.8	Variabilité sérologique et moléculaire : .....	18
3.2.2	<i>Les moyens de prévention et de lutte contre la propagation du RYMV</i> .....	21
3.2.3	<i>Le RYMV au Mali</i> .....	22
3.2.4	<i>Diagnostic du RYMV</i> .....	22
<b>4</b>	<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>24</b>
4.1	TYPES ET PERIODE D'ETUDE .....	24
4.2	ZONES D'ETUDE .....	24
4.3	MATERIEL.....	27

4.3.1	<i>Matériel végétal</i> .....	27
4.3.2	<i>Autres Matériels</i> .....	27
4.3.3	<i>Critère utilisée pour la collecte des échantillons</i> .....	27
4.3.4	<i>Prélèvement des échantillons</i> .....	28
4.4	<b>METHODES</b> .....	28
4.4.1	<i>Détection du RYMV</i> .....	28
4.4.2	<i>Saisie et Analyse des données</i> .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTATS</b> .....	<b>31</b>
5.1	PRESENCE DES SYMPTOMES DU RYMV DANS LES CHAMPS VISITES .....	31
5.2	DONNEES SUR LES ECHANTILLONS COLLECTES .....	33
5.3	PRESENCE DU RYMV DANS LES ECHANTILLONS DE PLANTES COLLECTES.....	34
5.4	POURCENTAGES DES ECHANTILLONS POSITIFS .....	36
5.5	DISTRIBUTION DES ECHANTILLONS EN FONCTION DES LOCALITES ET DES RESULTATS DU TEST ELISA .....	37
<b>6</b>	<b>COMMENTAIRES ET DISCUSSION</b> .....	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b> .....	<b>41</b>
7.1	CONCLUSION.....	41
7.2	RECOMMANDATION.....	41
<b>8</b>	<b>REFERENCES</b> .....	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUCTION

Cultivé depuis des millénaires, le riz est l'aliment de base de plus de la moitié de la population mondiale. Il constitue la principale source d'énergie, aussi bien pour les populations des zones urbaines que celles des zones rurales, environ 23% de toutes les calories consommées dans le monde proviennent du riz [1].

Le riz occupe la deuxième place après le maïs, et est cultivé sur près de 150 Mha. Ces dernières années, la production a atteint 755,1 Mt [2], [3]. Contrairement à l'Asie, l'Afrique n'est pas autosuffisante sur sa consommation en riz. L'Asie produit 90% du riz mondial contre 3,6% pour l'Afrique, cette dernière se plaçant même derrière les Caraïbes (4%) par exemple [4].

La filière rizicole en Afrique constitue l'un des secteurs clés pour la sécurité alimentaire qui connaît encore de réels problèmes pour son développement ; notamment la méconnaissance de la qualité des variétés de riz africain et leur non adoption liée aux soupçons portés sur leur valeur nutritionnelle [2].

Le Mali est le deuxième pays producteur de riz d'Afrique de l'Ouest avec plus de 2 Mt par an [5]. Son économie est essentiellement rurale et 75 % de la population dépend de l'agriculture ou de la pêche, dont 10% du pastoralisme [4]. L'agriculture contribue pour 40% du produit intérieur brut (PIB) et fournit près de 30% des recettes d'exportation du pays [6].

Le riz est la céréale dont la consommation moyenne par habitant est la plus élevée au Mali, les niveaux de consommation en riz atteignent environ 70 kg/an par habitant [7].

Cependant, malgré l'expansion des surfaces emblavées et l'appui étatique, qui ont généré un accroissement de la production; il reste toutefois dépendant des aléas climatiques [8]. Ces fluctuations associées aux contraintes biotiques et abiotiques constituent les raisons principales de la faible compétitivité du riz local face au riz importé [7].

Parmi les principales causes de la faible productivité du riz en Afrique, figure la panachure jaune du riz [9]. C'est une maladie virale endémique en Afrique, dont l'agent pathogène est le virus de la panachure jaune du riz communément appelé « *rice yellow mottle virus, RYMV* ». Cette maladie pose de réel problème à la riziculture irriguée en Afrique de l'Ouest et du Centre, elle affecte aussi la riziculture pluviale de bas-fonds [10], [11]. La maladie est apparue pour la première fois, vers les années 1990 dans la vaste zone d'irrigation de l'Office du Niger, au centre du Mali [12]. Le RYMV est l'une des principales causes de pertes de production du riz

en Afrique[2], [13]. Les pertes de récolte dues à cette virose du riz varient de 20 à 100 % selon la variété de riz, la souche virale, le stade végétatif de la plante et l'environnement [13].

Le Mali fait partie des pays où la production du riz est très menacée par ce virus avec des pertes variant de 64 à 100% [14] , face à cette situation, la recherche des moyens de lutte efficaces à court et moyen terme est devenue une priorité pour sécuriser la production agricole et réduire le volume des importations de riz [15]. Ce qui nécessite une connaissance approfondie en phytopathologie.

C'est dans cette optique que nous nous sommes fixés comme objectif, l'étude de la distribution du virus de la panachure jaune du riz au Mali.

## **2 OBJECTIFS**

### **2.1 Objectif général**

Etudier la distribution du virus de la panachure jaune du riz au Mali par une méthode sérologique.

### **2.2 Objectifs spécifiques**

- Collecter les échantillons de feuilles portant les symptômes de la maladie du RYMV
- Confirmer le diagnostic de la maladie du RYMV par la sérologie (ELISA Sandwich direct)

## **3 GENERALITES**

### **3.1 Généralités sur le riz et la riziculture**

#### **3.1.1 Botanique et taxonomie**

##### **3.1.1.1 Description botanique**

Le riz est une plante herbacée annuelle avec une tige ronde recouverte, des feuilles sessiles plates en forme de lame et une panicule terminale. Sous des conditions climatiques favorables et exceptionnelles, la plante peut pousser pendant plus d'une année [16].

Il est constitué de racines fasciculées et de racines adventives disposées en couronne au premier nœud [17], [18]. Sa tige ou chaume formée pendant la germination à partir de la tigelle est creuse et flexible et porte des nœuds et entre-nœuds qui s'allongent au fur et à mesure que la plante se développe [19]. Son allongement devient plus important après l'apparition des feuilles paniculaires, cependant les entre-nœuds de la base se raccourcissent et se concentrent vers le collet. Des tiges secondaires se développent tout autour de la tige principale pendant la phase végétative : elles sont appelées des talles [20].

Les feuilles prennent naissance à un nœud de la tige et sont constituées de deux parties : la gaine foliaire et le limbe foliaire. Chaque nœud donne naissance à une feuille. La gaine foliaire enveloppe la totalité de l'inter nœud et même dans certains cas le nœud suivant. Le limbe foliaire ou la partie terminale de la feuille est attachée au nœud par la gaine foliaire. La dernière feuille sous la panicule est appelée feuille paniculaire [16].

Son inflorescence est une panicule érigée ou pendante au niveau de l'entre-nœud terminal et porte des ramifications en grappes. L'épillet hermaphrodite fait du riz une plante fortement autogame. Il a quatre bractées mâles et possède deux glumes et deux glumelles. L'androcée est formé de six étamines disposées sur deux verticilles alternées et le gynécée à carpelle unique se prolonge par le style coiffé par le stigmate plumeux [20].

Le grain de riz est constitué de l'ovaire fécondé, des glumes et glumelles, du rachis, des glumes stériles et éventuellement de la barbe. L'embryon est fusionné avec l'endosperme.

Les glumes et leurs structures associées constituent la balle et peuvent être séparées du grain par pression rotative (Le décorticage). Le grain décortiqué (le caryopse) est connu sur le marché comme du riz brun (ou entier) et doit son nom au péricarpe brun qui le couvre [16].

### 3.1.1.2 Systématique

Les riz sauvages et cultivés appartiennent au genre botanique *Oryza* (*Oryza sativa* Linn et *Oryza glaberrima* Steud).

*Oryza sativa* Linn

**Règne** *Plantae*  
**Sous-règne** *Tracheobionta*  
**Division** *Magnoliophyta*  
**Classe** *Liliopsida*  
**Sous-classe** *Commelinidae*  
**Ordre** *Cyperales*  
**Famille** *Poaceae*  
**Genre** *Oryza*  
**Espèce** *Oryza sativa*

*Oryza glaberrima* Steud

**Règne** *Plantae*  
**Sous-règne** *Tracheobionta*  
**Division** *Magnoliophyta*  
**Classe** *Liliopsida*  
**Sous-classe** *Commelinidae*  
**Ordre** *Cyperales*  
**Famille** *Poaceae*  
**Genre** *Oryza*  
**Espèce** *Oryza glaberrima*

### 3.1.1.3 Synonymes [21]

- *Oryza glaberrima* var. *subaristata* Roshev
- *Oryza communissima* Lour
- *Oryza glutinosa* Lour
- *Oryza montana* Lour
- *Oryza perennis* Moench
- *Oryza praecox* Lour
- *Oryza rubriarbis* (Desv.) Steud

### 3.1.1.4 Noms en langues locales

- Bambara : kini, malo
- Peul : maro

### 3.1.1.5 Répartition géographique et habitat

Le riz est une monocotylédone de la famille des *Poaceae* appartenant au genre *Oryza*, qui inclut plus de 20 espèces [18], dont deux espèces cultivées à savoir *O. sativa* Linn et *O. glaberrima* Steud [5], [12], [19]. Le genre *Oryza* serait originaire du Gondwana, il y a environ 130 millions d'années, avant la domestication des deux espèces cultivées et connues de nos jours : *Oryza sativa* Linn en Asie et *Oryza glaberrima* Steud en Afrique occidentale [20], [18], [21].

***O. sativa* Linn** : Ce groupe artificiel dans lequel nous faisons rentrer toutes les formes de Riz cultivées en Asie et Malaisie (et dont certaines ont été introduites et se sont modifiées plus ou moins en Australie, Madagascar, Afrique, Europe, Amérique) n'est pas une espèce, mais une

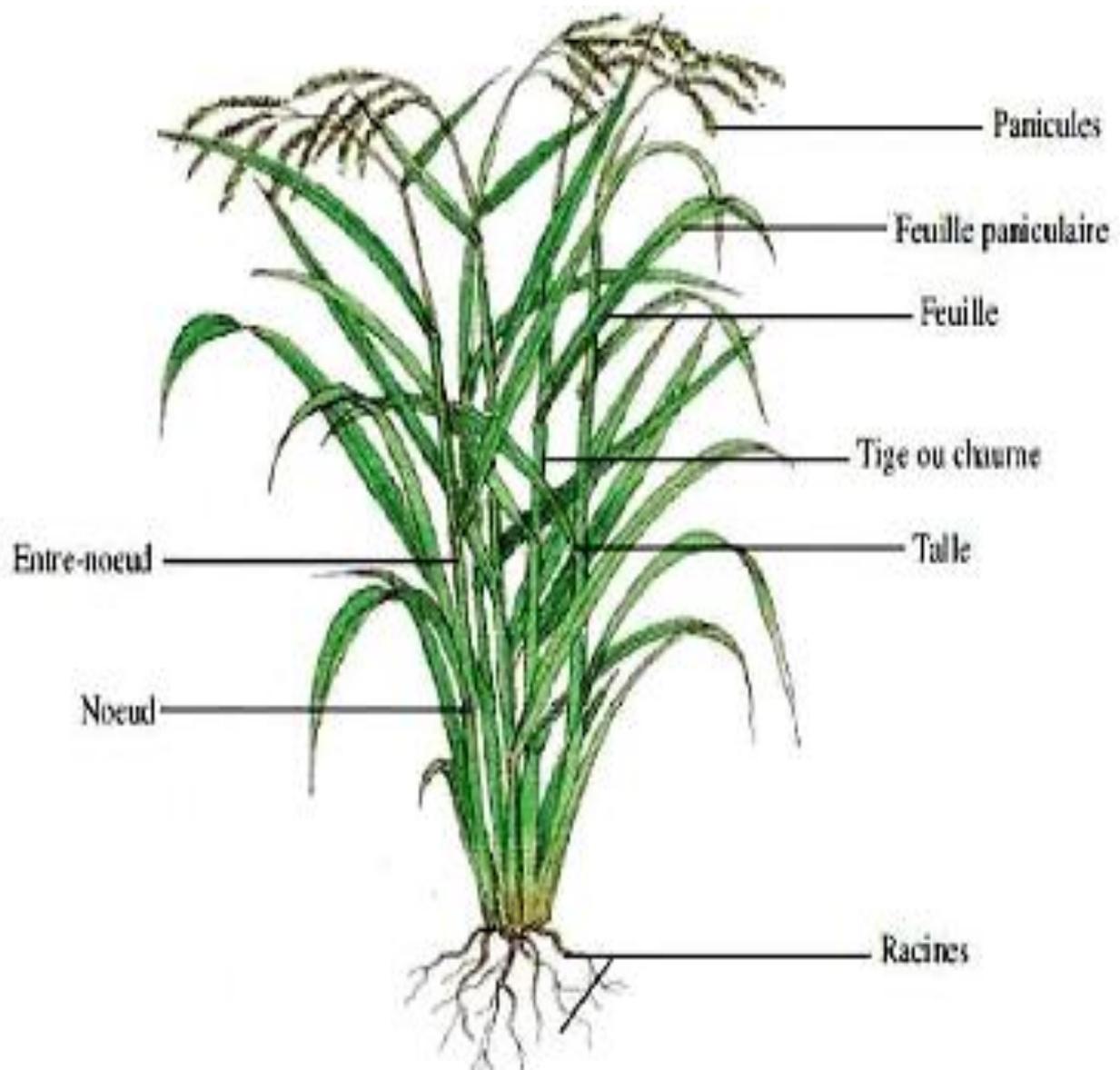
collection de groupes de formes dérivant de *O. fatua* et de *O. minuta* par sélection, mutation et hybridation [19], [18].

Il provient de 2 sous-espèces :

- ✓ *Japonica* qui est originaire de la zone tempérée et subtropicale de l'Asie et se caractérise par un tallage moyen avec des grains larges et longs, des feuilles longues et larges. Elle s'est adaptée à la culture pluviale [22].
- ✓ *Indica* qui est originaire de l'Asie tropicale et se caractérisant par un fort tallage, des feuilles longues et fines avec des grains longs et minces. Elle est adaptée à la culture irriguée [18].

***Oryza glaberrima Steud*** : Cette espèce est cultivée en Afrique dans une région qui s'étend du delta du fleuve Sénégal à l'ouest, jusqu'au lac Tchad à l'est et à la côte du Golfe de Guinée au sud, mais qui reste limitée au Sud-Est par les bassins de la Bénoué, du Logone et du Chari [23].

*O. glaberrima* a néanmoins été observée dans certaines rizières des îles tanzaniennes de Zanzibar et de Pemba [23]. Il est de forme oblongue et le plus souvent de couleur rouge. Elle dérive d'*Oryza Longistaminata*, elle-même issue d'*Oryza breviligulata*, qui est toutes deux restées sauvages [21].



**Figure 1 :** Morphologie du riz [21].

### **3.1.2 Importance économique et alimentaire du riz**

Le riz est l'une des cultures vivrières les plus importantes au monde. C'est le principal aliment de base pour plus de la moitié de la population mondiale [24].

Le riz est la deuxième céréale produite au monde après le maïs ; précédant le blé, elle prend la première place dans l'alimentation humaine [5].

Dans les pays en voie de développement, le riz représente également la base de l'alimentation de plus de 2,5 milliards de personnes avec des consommations annuelles très importantes dépassant dans certains pays les 100 kg/habitant. Au-delà d'être source d'alimentation pour environ 50 % de la population mondiale, le riz représente la principale source de protéines pour plus de 2,5 milliards de personnes dans les pays en voie de développement [25].

Il se distingue des autres céréales par sa teneur élevée en glutélines (solubles dans les bases diluées) et faibles en prolamines (solubles dans les solutions alcooliques) [26]. Sur le plan nutritionnel et d'une manière générale, le riz présente une large gamme d'éléments nutritifs (Tableau I).

L'Asie domine l'économie du riz avec 90 % des surfaces et de la production, l'Amérique Latine et l'Afrique se partageant l'essentiel des 10 % restants [21].

La production de riz en Afrique est passée de 3,14 millions de tonnes à 14,60 millions de tonnes au cours des 5 dernières décennies. Pendant cette période, la superficie des terres cultivées a été multipliée par 3,3 de 2,5 millions d'hectares à 8,2 millions d'hectares, tandis que le rendement par unité de surface a enregistré une augmentation de 30 % passant de 1,24 t/ha à 1,78 t/ha [27].

Le riz est non seulement consommé par les humains, il entre dans l'alimentation du bétail, dans l'industrie pour la transformation en acide acétique, glucose et amidon. Les agriculteurs locaux utilisent la paille et les tiges de riz pour tisser des toits, des chapeaux, des paniers et des sandales. La coque de riz non comestible est utilisée comme combustible, engrais et isolation [28].

**Tableau I** : Teneurs en éléments nutritifs évaluées dans 100g de riz cuit

Nom des constituants (unités)		Teneurs moyennes
Énergie (Kcal)		130
Eau (g)		70,4
Substances nutritives	Protéines (g)	2,8
	Glucides (g)	28,8
	Sucres (g)	0,11
	Amidon (g)	28,7
	Lipides (g)	0,37
Acides gras	Saturés (g)	0,07
	Monoinsaturés (g)	0,07
	Polyinsaturés (g)	0,09
Fibres alimentaires (g)		0,9
Minéraux et oligoéléments	Sodium (mg)	2
	Magnésium (mg)	9
	Phosphore (mg)	55
	Potassium (mg)	56
	Calcium (mg)	19
	Manganèse (mg)	0,35
	Sélénium (µg)	8,2
Métaux	Fer total (mg)	0,24
	Cuivre (mg)	0,07
	Zinc (mg)	0,37
Iode (µg)		5
Rétinol (µg)		0
Bêta-carotène (µg)		0
Les vitamines	B1 ou Thiamine (mg)	0,07
	B2 ou Riboflavine (mg)	0,01
	B3 ou PP ou Niacine (mg)	2,31
	B5 ou Acide pantothénique (mg)	0,32
	B6 ou Pyridoxine (mg)	0,15
	B9 ou Folates totaux (µg)	4
	B12 ou Cobalamines (µg)	0
	C (mg)	0
D (µg)	0	
Activité vitaminique E (=alpha-tocophérol) (mg)		0

Source : (Gnacadja 2018) [29]

### **3.1.3 Riziculture au Mali**

Le Mali est de loin le pays du Sahel qui dispose le plus de ressources en riziculture (eaux et sols). En effet, le potentiel irrigable du Mali comprend près de 2,2 millions d'ha de terres dont plus de 1,8 millions d'ha dans la seule vallée du fleuve Niger ; le fleuve Niger, troisième fleuve le plus long d'Afrique avec plus de 4 100 km dont plus de 2 400 km au Mali et le fleuve Sénégal long de 1 400 km dont plus de 800 km au Mali. Avec un taux d'exploitation de moins de 15% de son potentiel rizicultivable, le Mali approvisionne déjà de nombreux marchés de l'Ouest Africain (Burkina, Mauritanie, Sénégal, Côte d'Ivoire, etc.), ce qui permet de penser qu'il pourrait être sans doute le grenier à riz de l'Afrique de l'Ouest [15].

Selon le niveau de maîtrise de l'eau, la riziculture pratiquée peut être plus ou moins intensive. Les modes de production rizicole rencontrés au Mali peuvent être classés en deux grands types [30] :

- ✓ la riziculture dans les aménagements hydro - agricoles qui regroupe selon le degré de maîtrise de l'eau, la riziculture en submersion contrôlée (régions de Ségou et de Mopti) et la riziculture en maîtrise totale de l'eau dans les rizières de l'Office du Niger, les aménagements de Sélingué, de Baguinéda et les petits périmètres irrigués le long des fleuves Niger (Mopti, Tombouctou et Gao) et Sénégal (Kayes, Kita, Bafoulabé et Manantali) ;
- ✓ la riziculture traditionnelle regroupant la riziculture en submersion libre dans le delta central nigérien, la riziculture dans les bas-fonds et les plaines inondables dans la partie sud du pays et la riziculture pluviale dans les régions de Sikasso, Kayes, Koulikoro et une partie de la région de Ségou.

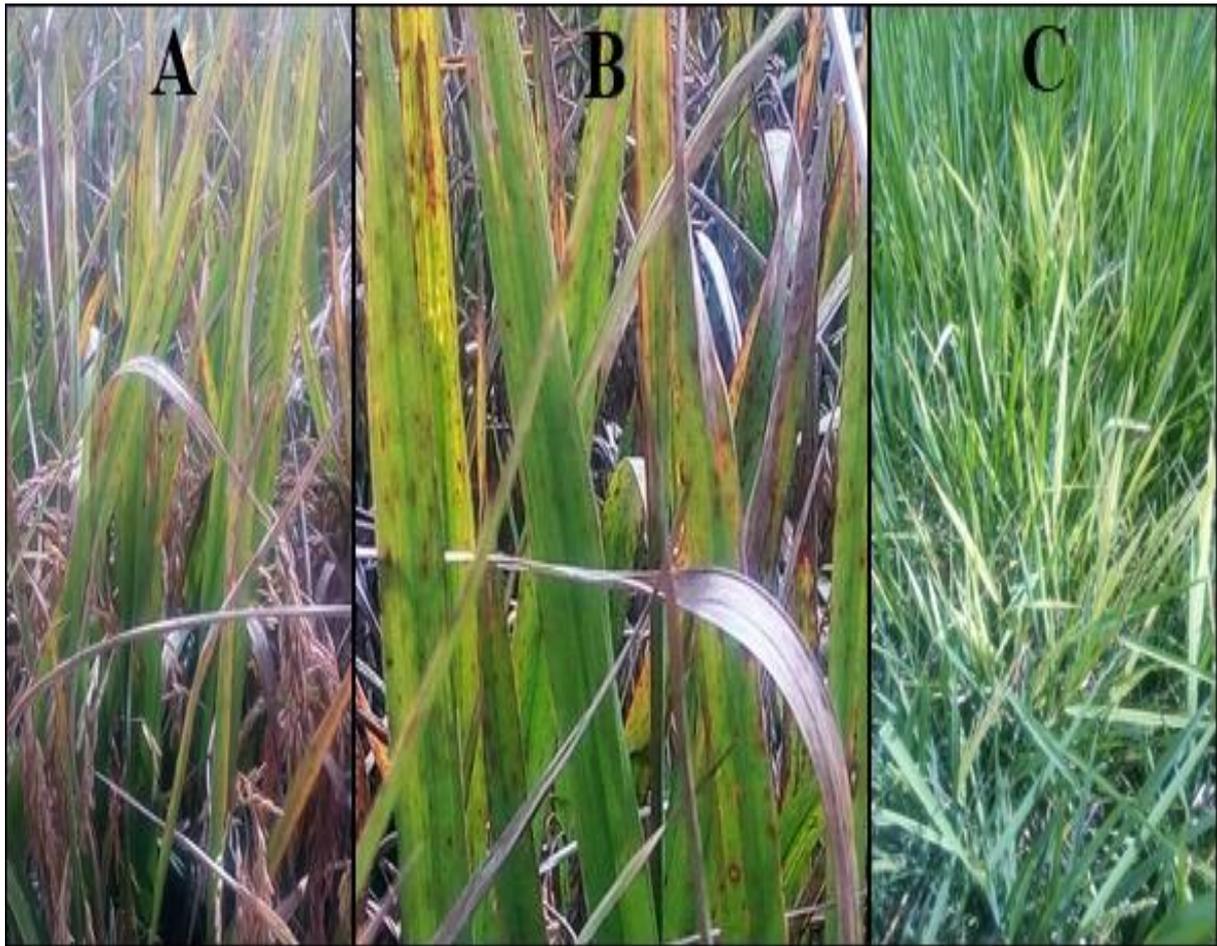
## **3.2 Généralités sur les maladies du riz en Afrique**

Le riz, du fait de sa culture sous différents environnements et climats, se trouve confronté aux contraintes abiotiques comprenant la sécheresse, la pauvreté des sols, la toxicité ferreuse, aluminique et aux contraintes biotiques constituées des adventices, des nématodes, des insectes ravageurs, des oiseaux granivores, et les maladies. Ces contraintes peuvent constituer des difficultés majeures à la production du riz [31].

Les maladies du riz sont causées pour la plupart par des champignons, des bactéries, ou des virus [31], [32]. Elles se manifestent par un rabougrissement, un changement de couleur, un flétrissement et/ou un développement anormal de certains organes. Ces symptômes peuvent se localiser dans tous les organes de la plante.

La *pyriculariose* causée par *Magnaporthe grisea* est la plus importante maladie fongique du riz (Figure 2), tandis que le flétrissement bactérien et la strie bactérienne sur les feuilles, causées respectivement par *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* et *Xanthomonas oryzae* pv *oryzicola* sont les contraintes majeurs d'origine bactérienne (Figure 2).

Aujourd'hui il existe plusieurs virus décrits chez le riz dans le monde, parmi lesquels, deux sont particulièrement présents en Afrique. Il s'agit de la nécrose à rayures du riz et de la panachure jaune du riz. La nécrose à rayure causée par le *Rice stripe necrosis virus* a été décrite en Côte d'Ivoire en 2009 [33]. Quant à la panachure jaune du riz, elle est considérée comme la plus importante contrainte biotique pour la riziculture en Afrique [34] ( Figure 2).



**Figure 2** : Symptômes viraux, bactériens et fongique observés dans les rizières de l'Office du Niger à Niono (Photo prise le 24/10/2018).

**A & B** : feuille de riz infectée par la *pyriculariose* et la *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* ; **C** : feuille infectée par le RYMV

### **3.2.1 Le virus de la panachure jaune du riz**

#### **3.2.1.1 Classification**

Le RYMV est un phytovirus du genre Sobemovirus appartenant à la famille des *Sobemoviridae*. C'est un virus à ARN linéaire à simple brin de polarité positive, rattaché au groupe IV de la classification Baltimore [35].

#### **3.2.1.2 Propriétés biologiques et physico-chimiques**

Le RYMV est un virus très infectieux et stable avec un point de thermo-inactivation de 70°C [21]. Son point final de dilution varie entre  $10^{-6}$  et  $10^{-11}$  en fonction des extraits de riz infectés [36].

A partir de 65°C, la majeure partie du pouvoir pathogène du virus est perdue mais, quelques particules virales restent infectieuses jusqu'à 80°C [37]. A température ambiante (24-27°C), l'infectiosité de RYMV dans les extraits de feuilles est préservée pendant un à deux mois. A 4°C, le virus peut rester infectieux pendant 260 jours [37]. Le pouvoir infectieux du virus est aussi maintenu pendant près de 155 jours à température ambiante (20°C). Enfin, le RYMV conserve son infectiosité dans les feuilles sèches infectées, après un an de stockage dans le  $\text{CaCl}_2$  [37].

Il garde son infectiosité pendant plusieurs mois voire plusieurs années lorsque le matériel végétal infecté est conservé à -80°C, cette méthode est couramment utilisée aujourd'hui pour la conservation des isolats de RYMV.

#### **3.2.1.3 Répartition géographique**

Le RYMV est endémique en Afrique, il infecte *O. Sativa* et *O. Glaberrima* avec différents degrés de virulence. Il touche aussi des riz sauvages Africains (*O. Longistaminata*) et quelques Poacées sauvages (*Chlorideae*, *Eragrostideae*) représentant des plantes réservoirs naturelles pour le virus [5].

Le RYMV est la maladie la plus répandue en Afrique-subaharienne [34], Vers 1990, la panachure jaune du riz a été signalée dans tous les pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre [38]. En Afrique du centre, sa présence a été confirmée au Cameroun et au Tchad [39]. Présente en Uganda [40], la maladie a été identifiée dans presque tous les principaux pays producteur de riz de l'Afrique subsaharienne, y compris à Madagascar [41].

#### **3.2.1.4 Modes de transmission du RYMV**

Facilement transmissible par inoculation mécanique au laboratoire et au champ, le RYMV est un virus très infectieux [42], [40], [43], [37]. Il peut être transmis de différentes manières [40]. Une vingtaine d'espèces de coléoptères dont plusieurs du genre *Chrysomelidae* mais également

dix espèces de sauterelles et six de cicadelles ont été décrites comme vecteur du RYMV [44]. Elles le transmettent selon un mode semi-persistant non circulant [37], [45].

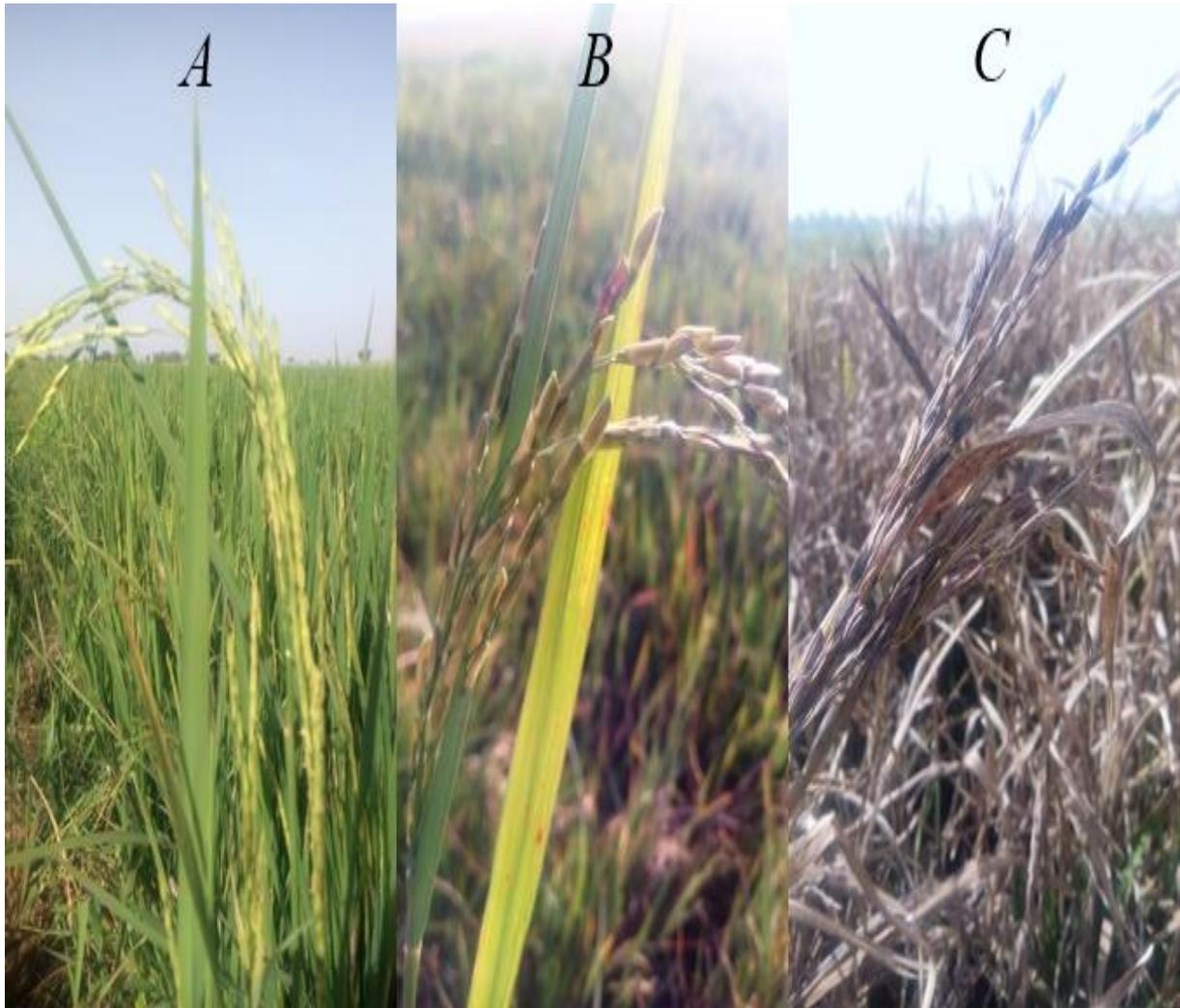
La transmission est aisée en condition de culture via les contacts entre les feuilles, le pâturage et les pratiques agricoles comme la germination en pépinière, le repiquage, l'enfouissement des plants après récolte ou encore l'irrigation [46]. Par ailleurs, bien que le virus ait été détecté dans les grains de riz avant dessiccation, la transmission par graine n'a jamais été observée [44].

### **3.2.1.5 Symptômes**

Décrite pour la première fois au Kenya en 1966 et le RYMV était caractérisé par des symptômes de jaunissement non uniforme des feuilles de riz infectées [37].

Les symptômes commencent par l'apparition de points chlorotiques et de stries vert pale à jaunâtres sur les feuilles (Figure 3), en général entre six et dix jours après infection [47]. A un stade avancé, d'autres symptômes peuvent se produire : réduction de la hauteur des plants et du nombre des talles fertiles, retard à l'épiaison, stérilité élevée des épillets et parfois nécrose complète et mort de la plante infecté [48].

La manifestation de la maladie est fonction de la sensibilité des variétés de riz [49]. En effet, certaines variétés conservent un feuillage globalement vert alors que chez d'autres, le jaunissement est dominant.

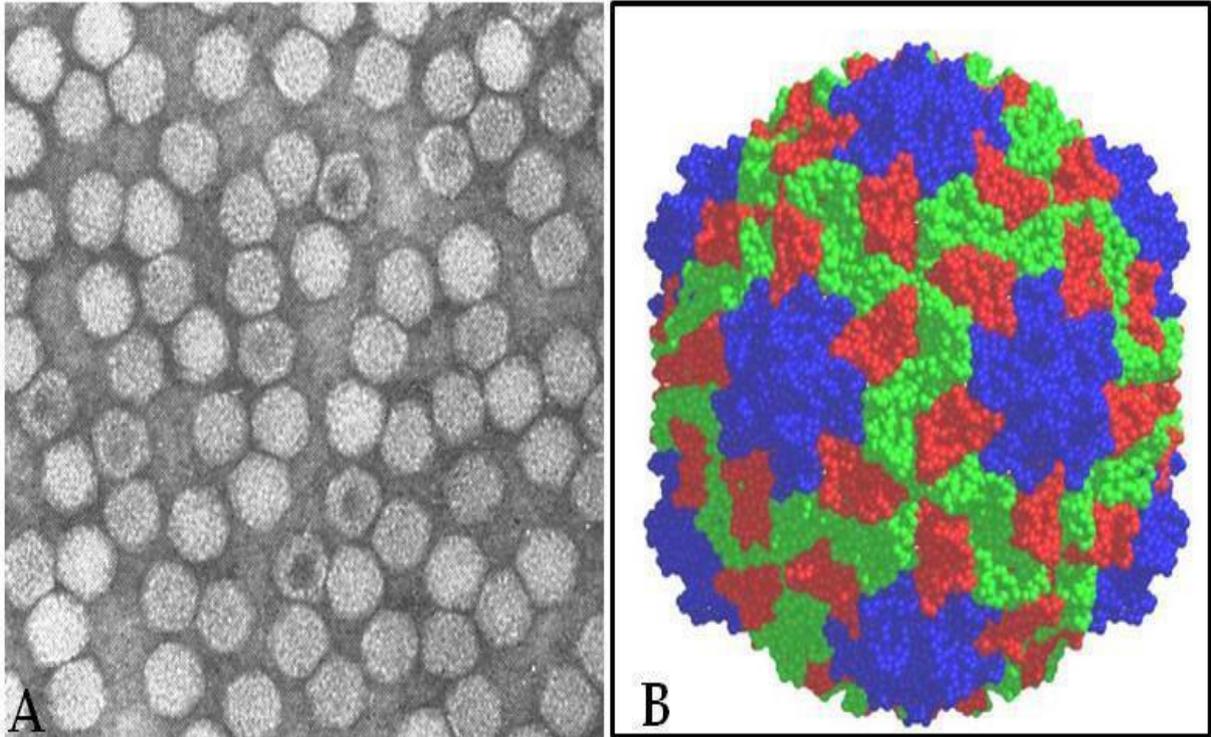


**Figure 3** : Symptômes de la maladie du RYMV observé dans les rizières de l'Office du Niger à Niono (Photo prise le 24/10/2018).

**A** : feuille et panicule de riz saine ; **B** : feuille et panicule infectée par le RYMV (Chlorose de la feuille) ; **C** : feuille et panicule infectée par le RYMV (Nécrose totale des feuille et panicule)

### 3.2.1.6 Structure du RYMV

On dénombre une quinzaine de maladies virales du riz dans le monde. Elles appartiennent à cinq familles distinctes et ont une répartition majoritairement limitée à un continent [45]. L'agent pathogène de la panachure jaune est un *sobemovirus* (SBMV) [50]. Il dispose d'une particule icosaédrique de  $28 \pm 3$  nm de diamètre et dont la capsid est composé de 180 sous-unités protéique agencées en 60 triangulations de 3 sous-unités chacune [50]. Le RYMV est un virus à ARN monocaténaire de polarité positive et lié à une protéine Vpg (Viral protein genome-linked) en position 5'. L'ARN non polyadénylé est composé de 4450 nucléotides [43] (Figure 4).



**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 ; B, structure tridimensionnelle de la particule obtenue par cristallographie aux rayons X [21].

### 3.2.1.7 Organisation génomique du RYMV

Les *sobemovirus* ont tous en commun une particule icosaédrique d'environ 30 nm renfermant un génome compact de 4 à 4,5 Kb [51], [52]. Leur génome est un ARN monocaténaire de polarité positif avec parfois un ARN satellite (satRNA) de 200 à 300 nucléotides (nts) comme pour le RYMV [5]. L'organisation du génome des *sobemovirus* a été récemment mise à jour avec l'identification d'un nouveau cadre ouvert de lecture (ORF) [53]. Donc en ce jour, le génome RYMV est organisé en cinq cadres ouverts de lecture et ne comprend pas de queue poly-A.

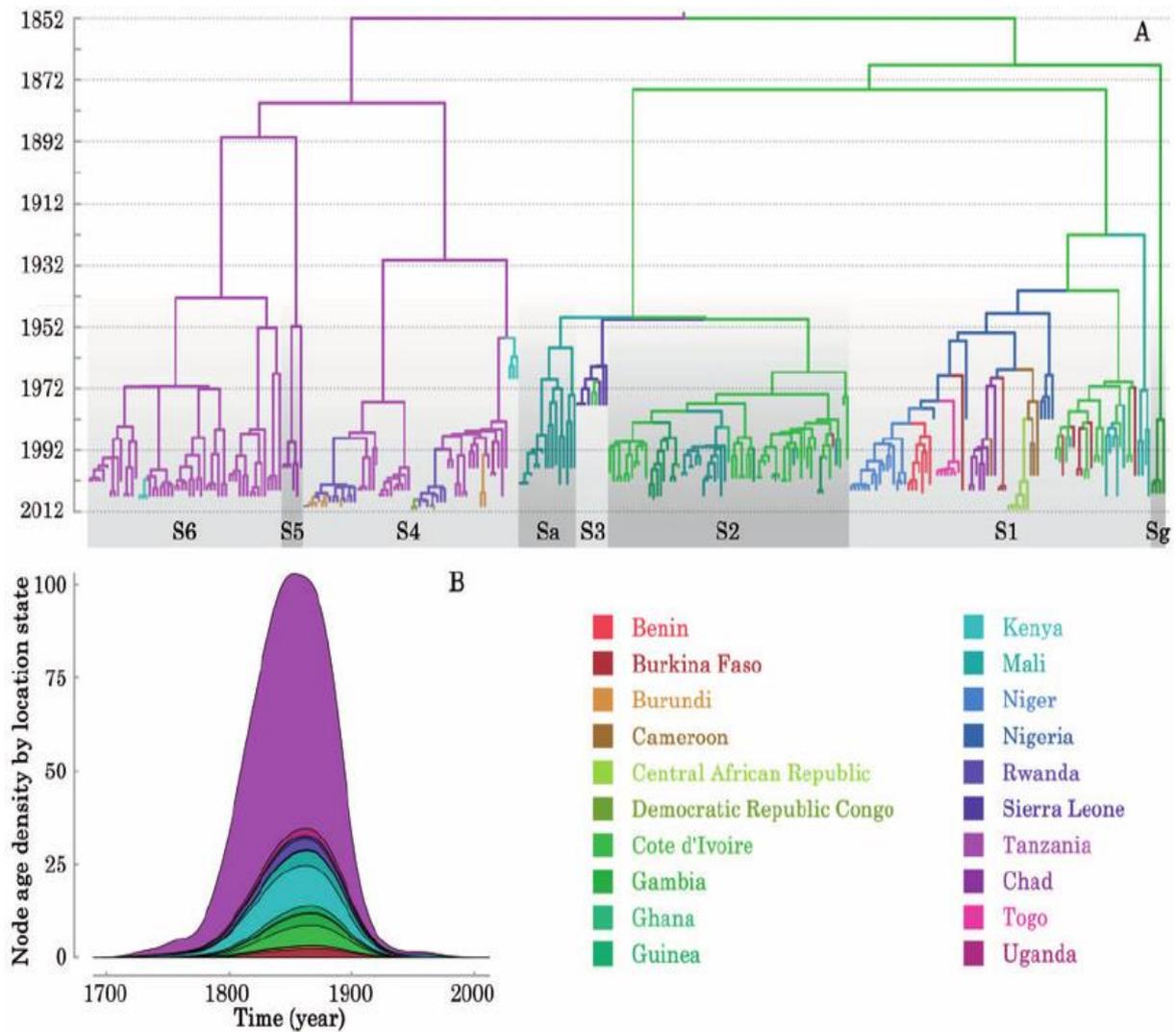
Les ORFs en 5' sont exprimés à partir de l'ARN génomique et l'ORF3, en 3', est exprimé à partir d'un petit ARN subgénomique. L'ORF1 code la protéine P1, impliquée dans le mouvement de cellule à cellule et a un double rôle (l'activation et la suppression de l'ARN interférent) [45], [54]. Cette protéine a également des points communs avec les protéines doigt-de-zinc de l'ARN [54].

L'ORF2a code pour une polyprotéine, clivé par la suite pour donner une sérine protéase et une protéine virale liée au génome (VPg). La VPg est impliquée dans la virulence et détermine la capacité à surmonter les gènes de résistance [47], [55]. Il est également impliqué dans l'adaptation de RYMV à des espèces de riz asiatique ou africaine [56]. L'ORF2b, code pour l'ARN polymérase ARN-dépendante (RdRP) [57]. L'ORF3 code pour la protéine de capsid (CP : *Coat Protein*) qui est traduite à partir d'un ARN sub-génomique [53], [57]. La CP est nécessaire aux mouvements de cellule à cellule et à longue distance pour lesquels l'encapsidation est nécessaire [57], [58]. Le cinquième ORF a été décrit récemment [53]. Appelé ORFx, il est chevauchant avec l'extrémité 5' de l'ORF2a avec un cadre de lecture +2. Il code pour la protéine Px dont la fonction n'est pas connue mais dont l'inactivation dans le *Turnip rosette virus* bloque l'infection [53].

### 3.2.1.8 Variabilité sérologique et moléculaire :

La caractérisation sérologique et moléculaire ont été réalisés grâce à des anticorps mis au point, et l'analyse de séquences du gène de la protéine de capsid d'un corpus d'isolats [59], [60], [2]. Les anticorps polyclonaux ont permis de mettre en évidence une variabilité sérologique. Tandis que l'utilisation des anticorps monoclonaux a permis d'affiner la caractérisation en mettant au point des sérotypes du virus. Cette diversité du RYMV a été évaluée à l'échelle du continent africain. Six souches majeures ont pu être identifiées par sérotypage et par séquençage (Figure 5) [2], [45], [61], [62]. Ces souches sont divisées en 3 lignées, S4-S1, S5 et S6 qui ont une structuration spatiale très importante. La lignée S5 est présente uniquement dans la région Kilombero, près de l'Océan indien. La souche S6 est distribuée en Afrique de l'Est et les

souches de la lignée S4-S1 sont présentes dans toute l'Afrique [41], [63], [64]. La phylogénie du RYMV a été reconstruite à partir de 366 isolats représentatifs de la diversité géographique et génétique du virus [65]. Il y a une forte corrélation entre les typages moléculaires, sérologiques et l'origine géographique des isolats. Il a été établi que la caractérisation moléculaire est plus affinée que la caractérisation sérologique car la souche S6 n'est pas détectable en sérologie [66].



**Figure 5** : Phylogéographie du RYMV. **A** : Arbre phylogénétique construit selon la méthode maximum clade credibility (MCC) et annoté avec les temps de divergence estimés [63]. L'arbre MCC a été construit à partir des séquences de l'ORF3 de 366 isolats originaires de 20 pays d'Afrique et collectés entre 1966 et 2012. **B** : Arbre MCC relié à la localisation de collecte des isolats [61]. Les branches de l'arbre sont colorées en fonction des pays d'origine des isolats.

### 3.2.2 Les moyens de prévention et de lutte contre la propagation du RYMV

L'acquisition de connaissances de plus en plus grandes sur l'épidémiologie du RYMV a permis la mise en œuvre de mesures de luttés culturales. A cet effet, des conseils d'ordre général basés sur les pratiques culturales et les mesures prophylactiques ont été prodigués aux paysans pour empêcher ou limiter la transmission du RYMV et par conséquent la propagation de la panachure jaune du riz [67]. Cette lutte consiste à désherber régulièrement les pépinières et les champs de riz ; à nettoyer les diguettes et les canaux d'irrigation pour éliminer les hôtes alternatifs du RYMV et réduire ainsi la pression des insectes et rongeurs. Lors des opérations d'entretien, il faut éviter de toucher les plants sains après que les mains aient été en contact avec des plants malades. Il faut également empêcher le bétail de brouter les plants en pépinières et dans les champs de riz [68]. Cependant, certaines d'entre elles nécessitent la formation des agents de vulgarisation et des producteurs de riz à une bonne reconnaissance de la panachure jaune dans le champ [69].

L'infection des plantes de riz au niveau de la pépinière et la transplantation ultérieure sur le terrain ont été les principales sources d'infection [62]. Il existe plusieurs moyens pour lutter contre le RYMV, mais la plupart d'elle s'avère inefficaces et couteuse.

- *La lutte chimique* : l'utilisation des insecticides contre les vecteurs du RYMV pour contrôler la propagation du virus est efficace, mais son action sur le développement du virus n'a pas été déterminée [21].
- *La lutte génétique* : Chez la plante, il existe diverses stratégies de résistance passive ou active pour limiter ou supprimer la propagation des pathogènes. La résistance passive se traduit par l'incapacité du pathogène à infecter la plante sans que celle-ci ne développe de mécanismes de défense particuliers. Certaines plantes synthétisent constitutivement des composés toxiques pour un pathogène, appelés phytoanticipines, issus du métabolisme secondaire [54]. Comme pour beaucoup d'autres virus, l'utilisation des variétés résistantes semble être le moyen le plus prometteur pour lutter contre le RYMV [70]. Des sources de résistance au RYMV ont été mises en évidence chez les espèces de riz cultivées. Une résistance élevée de type monogénique a été identifiée chez la variété Giganté de l'espèce *O. sativa indica* et chez quelques variétés de l'espèce *O. glaberrima* [3], [71]. Cette résistance élevée se manifeste par une absence de symptômes lors de l'infection et une faible teneur en virus [51]. Des études ultérieures se sont fondées également sur la cartographie pour identifier des loci à effets quantitatifs (QTL) et des marqueurs génétiques de résistance. Pour cela, une population

de lignées haploïdes doublées IR64 x Azucena a été utilisée et les résultats ont montré que la résistance au RYMV était sous un contrôle polygénique accompagné d'interactions complexes entre les QTL, le patrimoine génétique et la morphologie de la plante [72] : Quinze QTL ont donc été découverts sur sept segments chromosomiques. Ces études ont également permis de détecter un QTL majoritaire localisé sur le chromosome 12 d'une lignée quasi iso-génique (NIL) résistante d'IR64 qui est associé au ralentissement du mouvement des virus dans la plante, notamment au niveau du passage des gaines péri vasculaires (phloème) [24]. Malheureusement on a constaté que ces résistances peuvent être contournées soit par des isolats virulents existant dans les champs [73], soit émergent après des séries d'inoculation [41]. Selon certains auteurs [74], le risque de contournement est d'autant plus élevé que la pression d'inoculum est plus forte. Une mutation dans le Virus-Protein Genome linked (Vpg) du RYMV serait responsable du contournement [55]. La grande distribution ainsi que la fréquence élevée de ce type de mutation pourraient être une sérieuse menace pour la durabilité des résistances mises au point contre le RYMV.

### **3.2.3 Le RYMV au Mali**

Quand cette maladie est apparue pour la première fois, vers la fin des années 1980 dans la vaste zone d'irrigation de l'Office du Niger, au centre du Mali [75], les paysans ne voyant pas d'autre solution, s'en sont remis à Dieu et ont prié pour une délivrance contre cette calamité [12]. Au Mali, l'apparition des premiers symptômes du RYMV sur le riz local cultivé remonte à 1991 à la Station de Recherche Agronomique de Kogoni sur la variété IET 2911 et à l'Office du Niger dans le secteur de Niono sur la variété BG 90-2 [30]. Au cours de ces vingt dernières années ; la panachure jaune du riz est devenue un problème majeur dans les systèmes de riz irrigué, une enquête de l'office du Niger a montré des pertes de récolte jusqu'à 70% des infections au RYMV [76].

Aujourd'hui le RYMV a été détecté dans les localités de Fobougou, Sélingué et Baguinéda en plus des périmètre de l'office du Niger et dans les station de Recherche de l'IER [77]

### **3.2.4 Diagnostic du RYMV**

Les symptômes ne sont pas toujours des indicateurs du RYMV, ils sont très variables. C'est surtout, l'analyse sérologique ou moléculaire, qui peut détecter l'infection par le RYMV sur les plantes [60].

#### **✓ Diagnostic sérologique**

Le test **ELISA** (Enzyme Linked Immuno-sorbent Assay) permet de détecter la présence de virus dans les tissus de la plante infectée. Elle est basée sur le fait que les particules virales provoquent une réponse immunitaire chez les animaux. Des anticorps peuvent être produits par l'inoculation des virus dans une hôte appropriée (lapin ou cobaye). Ces anticorps peuvent être purifiés, concentrés, puis utilisés pour détecter le virus dans les tissus de la plante comme antigène. La réaction anticorps-antigène peut être visionnée et quantifiée à l'aide d'un enzyme qui digère un substrat ajouté à la préparation. Cette digestion provoque une coloration mesurable en densité optique par spectrophotométrie [78].

#### ✓ **Diagnostic moléculaire**

Les méthodes basées sur la réaction d'amplification en chaîne par polymérase (PCR) sont disponibles pour détecter le RYMV. Ce sont essentiellement des techniques développées pour la caractérisation des isolats du RYMV, à partir de la retro-transcription de l'ARN viral en ADNc (ADN complémentaire) avant de l'amplifier par la PCR. Les phases de cette technique sont : (a) L'extraction de l'ARN viral, (b) Amplification de l'ARN viral par RT-PCR, (c) Réaction de polymérisation en chaîne (PCR), (d) l'analyse des produits d'amplification par gel d'agarose [21], [79].

## **4 METHODOLOGIE**

### **4.1 Types et Période d'étude**

Il s'agissait d'une étude prospective pour la période de Septembre à Novembre 2018 dans les principales zones de riziculture irriguée et de riziculture de bas-fonds du Mali.

### **4.2 Zones d'étude**

Au Mali, le riz irrigué est principalement cultivé dans l'Office du Niger et dans les périmètres de Baguinéda et de Sélingué, et les systèmes de riziculture de bas-fonds dans la région de Sikasso.

L'Office du Niger est divisé en sept zones (Niono, Fobougou, M'Bewani, Molodo, N'Débougou, Kouroumari et Kolongo/Macina).

Le réservoir créé en 1947 par les Français après la construction du barrage sur le fleuve Niger près de Markala, un petit village au nord de Ségou, pouvait inonder une superficie de 960 000 ha ; initialement destinée à la production du coton, a finalement été irriguée lorsque les opérations infrastructurelles ont pris fin.

L'extension régulière de l'infrastructure s'est traduite par une superficie irriguée de 55 000 ha en 1960 et a atteint une superficie de 80 000 ha vers les années 2000. La majeure partie de cette zone irriguée a bien été les cultures rizicoles et ont atteint un niveau élevé de gestion des cultures [77].

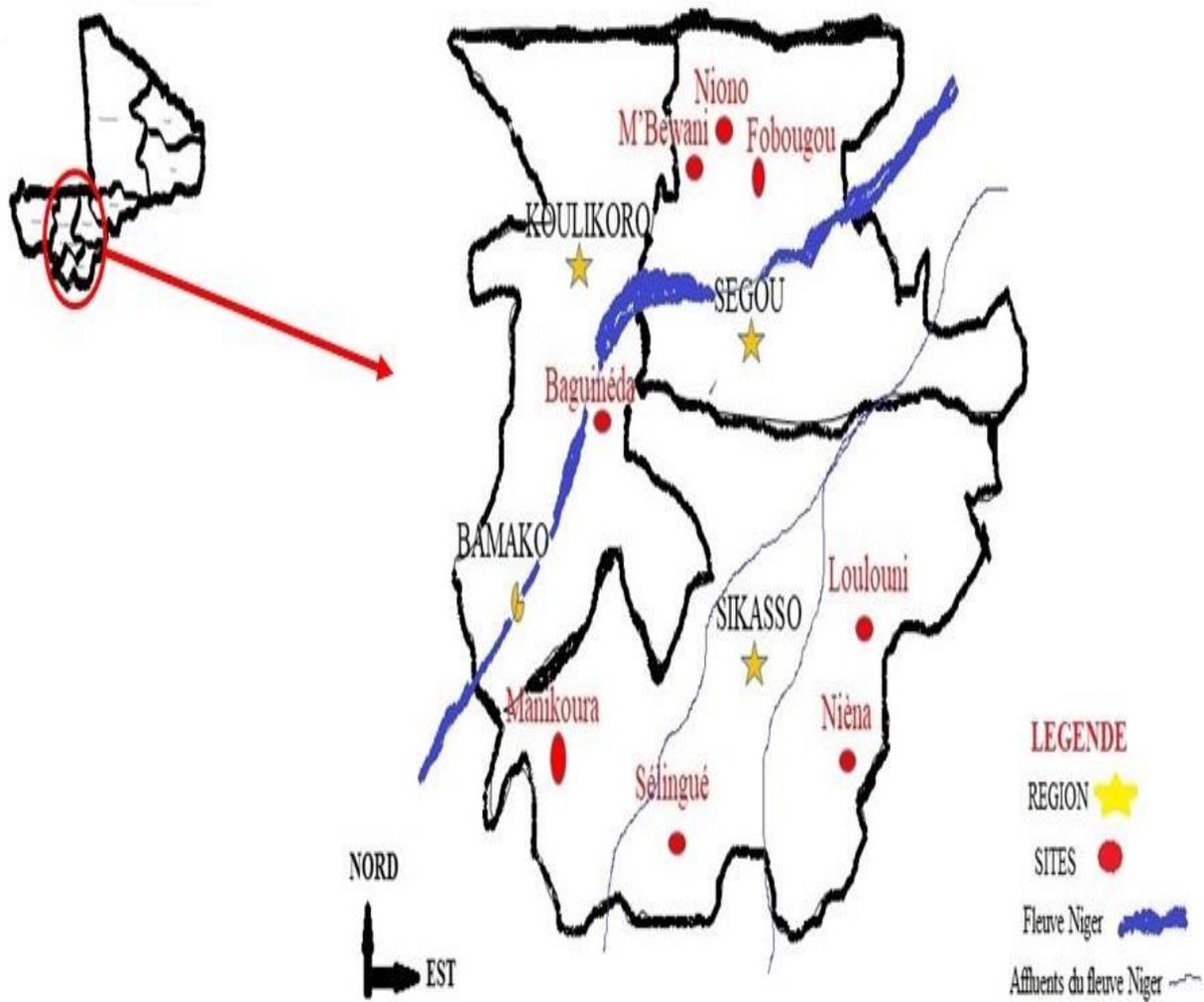
Le périmètre irrigué de Baguinéda fait partie de la région de Koulikoro. Sur les terres de l'Office du périmètre irrigué de Baguinéda (OPIB), crée en 1989 par l'Ordonnance N°89-15/P-RM du 29 mars 1989 portant création du Projet de Réhabilitation du Périmètre Agricole de Baguinéda. D'une longueur de 20km environ et d'une largeur moyenne de 2.25 km, le périmètre irrigué de Baguinéda a une superficie brute de 4500 ha dont 3080 ha irrigable [80].

Les périmètres aménagés en aval du barrage de Sélingué : celui de Sélingué dont une superficie irriguée de 1350 ha, créée en 1982 et celui de Manikoura au début des années 2000 avec une superficie irriguée de 1094 ha. Dans ces zones l'irrigation se fait en maîtrise totale de l'eau et de manière gravitaire. Le réseau d'irrigation est alimenté par une prise d'eau sur le barrage et composé d'un ensemble de canaux en béton et en terre compactée [81].

La riziculture de bas-fonds est très généralisée dans la région de Sikasso et est essentiellement pratiquée par les femmes. Cette riziculture occupe la majeure partie des champs privés des femmes et, par là-même, un enjeu important du développement [82]. Dans cette région du Mali,

la plupart des bas-fonds sont traversés par les cours d'eau du Lotio et du Kobani qu'ils alimentent ou, qui les alimentent ou, même vice versa. Il y'a aussi le Sankarani au Nord qui collecte les eaux et les déverse dans le Niger en amont de Bamako et le Bani au sud qui rejoint le Niger à Mopti après avoir collecté les eaux du Baoulé, du Bagoé et du Banifing.

Notre étude a porté sur trois sites de la Région de Ségou : Niono, Fobougou et M'Bewani en zone de système irrigué de l'Office du Niger dans le delta intérieur du fleuve Niger ; deux sites Manikoura et Sélingué (le long du fleuve Sankarani) dans la Région de Sikasso ; un site en zone péri-urbaine de Baguinéda (système de riziculture irriguée) ; deux sites de Bas-fonds, Loulouni et Nièna dans la région de Sikasso.



**Figure 6 :** Carte des trois régions présentant les sites d'étude.

## **4.3 Matériel**

### **4.3.1 Matériel végétal**

Il s'agissait des feuilles de plant de riz cultivé, sauvage et des adventices.

### **4.3.2 Autres Matériels**

- Balance
- Mortier
- Micropipettes
- Centrifugeuse
- Vortex
- Homogénéisateur
- Incubateur
- Congélateur pouvant conserver à -20°C
- Tube eppendorf
- Chronomètre

Le kit de diagnostic ELISA du SEDIAG (Société spécialisée dans le phytodiagnostic) était constitué de :

- L'anticorps de coating de type polyclonal de lapin
- L'anticorps conjugué PA de type polyclonal de lapin
- Des plaques ELISA de 96 puits
- Des pastilles de substrat pNPP
- Un contrôle positif et un contrôle négatif constitués de tissu sain
- Et les différents tampons (tampon coating 5X, tampon conjugué 5X, tampon substrat 5X, tampon de lavage 20X et tampon d'extraction).

### **4.3.3 Critère utilisée pour la collecte des échantillons**

Dans le cadre de cette étude, nous avons débuté par la collecte des échantillons sur la base des critères des symptômes [74] de la maladie qui sont :

- Les points chlorotiques sur les feuilles.
- Les stries jaunes sur les feuilles.
- Le rabougrissement des plantes.

- La diminution du nombre de talles et l'altération de la formation des fleurs et des graines.
- L'émergence partielle des panicules, la stérilité des épillets et le mauvais remplissage des graines.
- La nécrose des feuilles et des graines.

#### **4.3.4 Prélèvement des échantillons**

Notre collecte a couvert huit principales zones de riziculture irriguée et de bas fond du Mali. Nous avons fait une journée de huit heures dans chaque site, afin de prospecter le plus de champs.

Les prélèvements ont concerné les espèces de riz cultivées, de riz sauvage ainsi que les adventices se trouvant dans les champs, les digues et les bords des diguettes. Les échantillons symptomatiques prélevés ont été géolocalisés à partir de GPS (l'altitude, latitude et longitude) et étiquetés en fonction du lieu de collecte, de la variété de plant attaqué et des informations concernant le propriétaire de champ. Les échantillons ont ensuite été mis sur glace pour la conservation. Une fois arrivée au laboratoire LBMA dans la même semaine, les échantillons ont été transférés dans des tubes Falcon étiqueté et mis au congélateur à -80°C pour une longue conservation.

### **4.4 Méthodes**

#### **4.4.1 Détection du RYMV**

Le but était de rechercher les symptômes de la maladie dans tous les champs, digues et diguettes. Les symptômes ont ainsi été recherchés dans tous les zones de riziculture comme suite : pour chaque champ, tous les périmètres de culture étaient examinés, un maximum de feuille symptomatique était collecté dans chaque champ. Un champ infecté constituait un échantillon.

Tous nos échantillons ont été testé à l'ELISA Sandwich direct, qui selon beaucoup d'auteur est un moyen facile, rapide, spécifique et permet de tester plusieurs échantillons à la fois pour la détection de RYMV [59], [60], [13], [3].

Le kit de diagnostic ELISA du SEDIAG utilisé était DAS-ELISA (Phosphatase Alcaline). L'analyse était réalisée selon le mode opératoire recommandé par le fabricant (SEDIAG), tous

les échantillons ont été testés en deux répliquas et le coefficient de variation de tous les répliquas a été déterminé. Les principales étapes de ce test étaient :

✓ **Etape de Saturation**

L'anticorps de Coating a d'abord été dilué dans du tampon de Coating 1X (Annexe 1) au 1/500. Après homogénéisation 100µL de la solution d'anticorps dilué a ensuite été déposé dans chaque puits. La plaque de microtitration a été recouverte par un film plastique adhésif et incubée pendant 2 heures à +37 °C. Enfin les puits ont été vidés dans un container prévu pour ce type de déchet en renversant la plaque ELISA. Les puits ont ensuite été remplis à ras bord avec du tampon de lavage 1X, afin d'enlever les anticorps non fixés, ce lavage a été répété 2 fois.

✓ **Etape de fixation des antigènes**

0,1g de feuilles a d'abord été broyé dans 1ml de tampon d'extraction 1X (Annexe 1). Ensuite l'extrait a été brièvement centrifugé, 100µL de surnageant a été déposé par puits. La plaque a été couverte par du film plastique adhésif et incubée à +4 °C pendant toute la nuit. Puis les puits ont été vidés dans un container prévu pour ce type de déchet en renversant la plaque ELISA. Les puits ont ensuite été remplis à ras bord avec du tampon de lavage 1X, afin d'enlever les antigènes non fixés, ce lavage a été répété 5 fois.

✓ **Etape de dépôt de l'anticorps conjugué**

Une dilution de l'anticorps conjugué à 1/500 dans le tampon conjugué 1X (Annexe 1) a été effectuée. Ensuite 100µL a été déposé par puits. La plaque a été couverte par du film plastique adhésif et incubée à +37 °C pendant 2 heures. Enfin les puits ont été vidés dans un container prévu pour ce type de déchet en renversant la plaque ELISA. Les puits ont ensuite été remplis à ras bord avec du tampon de lavage 1X, afin d'enlever les anticorps conjugué non fixés, ce lavage a été répété 3 fois.

✓ **Etape de dépôt du substrat**

Une dilution des tablettes de substrat pNPP à 1mg/mL dans du tampon substrat 1X (Annexe 1) a été effectuée. Ensuite, 100µL par puits a été déposé. Puis la plaque a été couverte avec du papier aluminium, afin d'éviter d'exposer le substrat à la lumière et incubée à +37 °C pendant 1 heure.

✓ **Lecture de la plaque de microtitration au spectrophotomètre**

Les réactions positives ou négatives ont été déterminées en mesurant les absorbances à 405nm à l'aide d'un lecteur automatique de plaque ELISA de type Biotek ELx808. Un extrait a été considéré comme positif si les absorbances obtenues étaient supérieures au double de la moyenne des absorbances du témoin négatif.

#### ✓ **Interprétation des résultats**

Les puits dans lesquels la coloration jaune apparaissait étaient indiqués comme des résultats positifs, et les puits dans lesquels aucune couleur significative n'apparaît indiquaient des résultats négatifs.

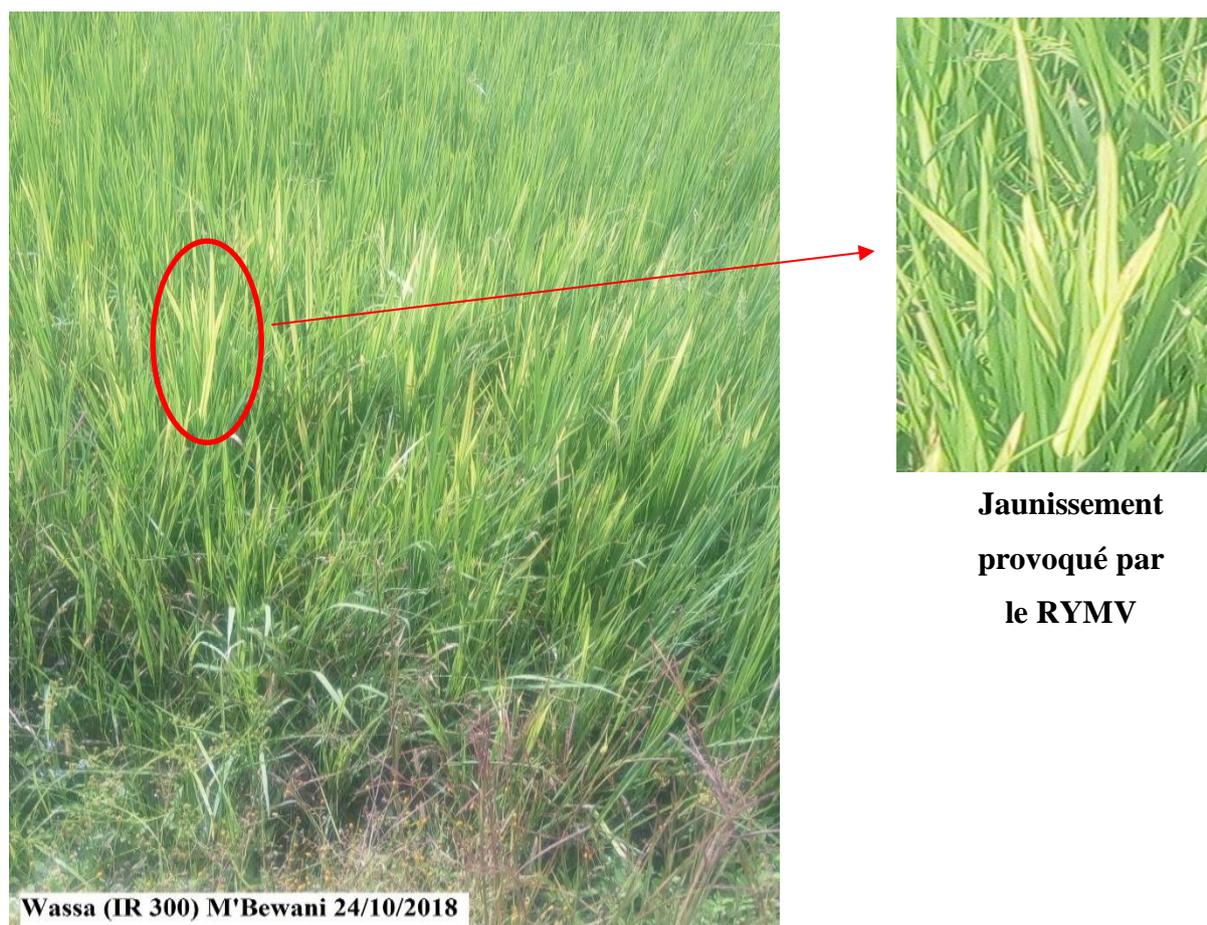
#### **4.4.2 Saisie et Analyse des données**

L'analyse ELISA double anticorps sandwich directe ou DAS-ELISA a été utilisée pour confirmer le RYMV, dans les feuilles symptomatiques collectées. Le kit de diagnostic utilisé était celui de SEDIAG. Les résultats obtenus du diagnostic biologique étaient saisis sur un fichier Excel et analysés et la saisie du document par Word.

## 5 RESULTATS

### 5.1 Présence des symptômes du RYMV dans les champs visités

Les figures 7 et 8 montrent les symptômes typiques du RYMV rencontrés dans les parcelles de riziculture : la maladie se manifestait surtout par le jaunissement des feuilles.



**Figure 7** : Champs de riz de la variété Adny présentant les symptômes de RYMV à Fobougou.



**Jaunissement  
provoqué par le  
RYMV**

**Figure 8 :** Champ de riz de la variété de Kogoni présentant les symptômes de RYMV à Niono.

## 5.2 Données sur les échantillons collectés

Les études réalisées sur le terrain nous ont permis de collecter 35 échantillons repartis sur les huit sites de l'étude (Tableau II).

**Tableau II** : Répartition des échantillons en fonction de la nature de la plante collectée

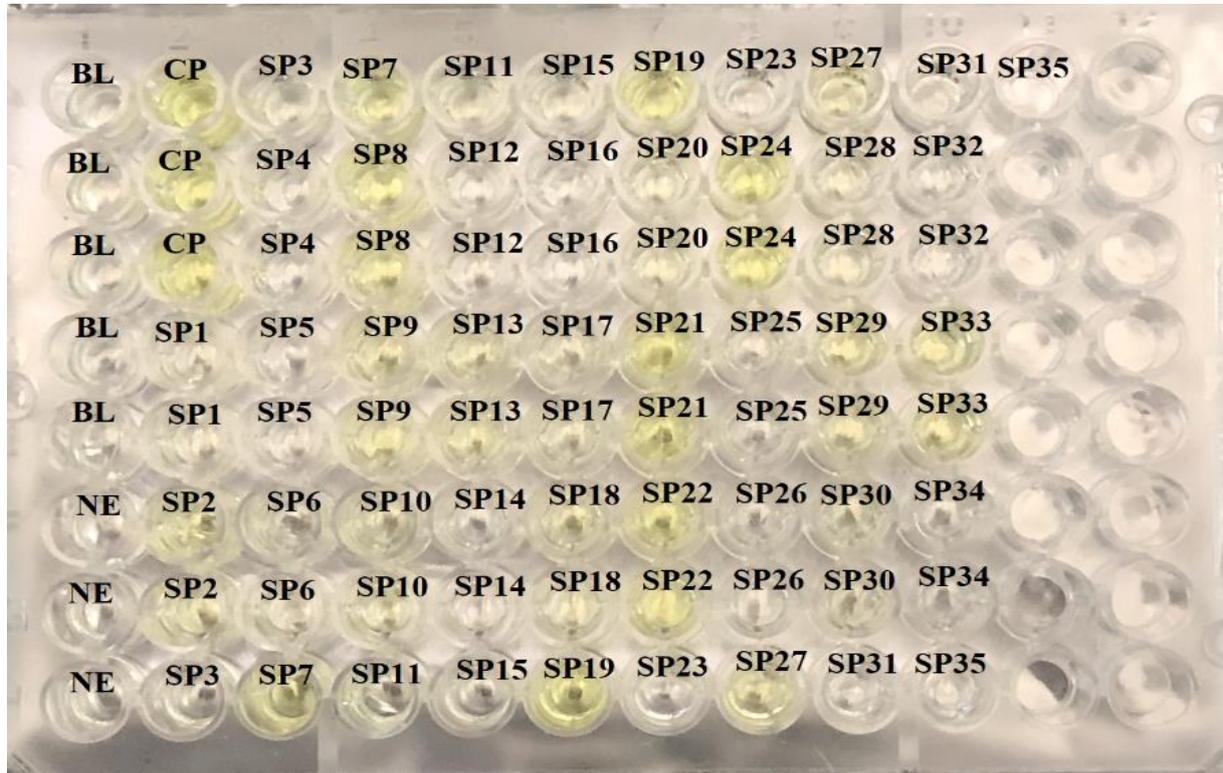
	Site	Variétés/adventices	Date de collecte	Nombre d'échantillons	Total/Site	
Région de Ségou	Niono	BG 90-2	23/10/2018	1	6	Riziculture irriguée
		Kogoni 91-1	23/10/2018	2		
		<i>O. longistaminata</i>	23/10/2018	2		
		Wassa (IR 300)	23/10/2018	1		
	M'Bewani	BG 90-2	24/10/2018	1	6	
		<i>O. barthii</i>	24/10/2018	1		
		Wassa (IR 300)	24/10/2018	3		
		Adny	24/10/2018	1		
	Fobougou	Adny	25/10/2018	1	2	
		Kogoni 91-1	25/10/2018	1		
Région de Koulikoro	Manikoura	IR	31/10/2018	8	8	
	Baguinéda	NA	29/10/2018	0	0	
Région de Sikasso	Sélingué	Hybride indien	01/11/2018	8	11	Riziculture de bas-fonds
		BHD	01/11/2018	1		
		<i>O. longistaminata</i>	01/11/2018	1		
		<i>Leersia hexandra</i>	01/11/2018	1		
	Loulouni	Riz local	27/09/2018	1	1	
	Nièna	Riz local	25/09/2018	1	1	

NA : Non applicable.

Nous avons collectés 30 échantillons de feuilles de l'espèce *Oryza sativa* (la sous-espèce *Japonica*) quatre échantillons de l'espèce de riz sauvage (*Oryza longistaminata* et *Oryza barthii*) et un échantillon (*Leersia hexandra*). Sélingué et Manikoura étaient les zones les plus infectées par la maladie, avec des fréquences de **30,56%** et **22,22%**. Sur les huit sites de l'étude, nous n'avons pas trouvé de symptômes à Baguinéda.

### 5.3 Présence du RYMV dans les échantillons de plantes collectés

Nous avons effectué le test ELISA sur les 35 échantillons collectés dans les sept sites pour confirmer la présence du RYMV.



**Figure 9** : Photo de la plaque contenant des échantillons.

**BL** : Tampon d'extraction ; **NE** : Contrôle Négatif ; **CP** : Contrôle positif ; **SP** : Echantillon.

**Tableau III** : Résultat du DAS-ELISA en fonction de la densité optique

La densité optique des extraits de feuilles.

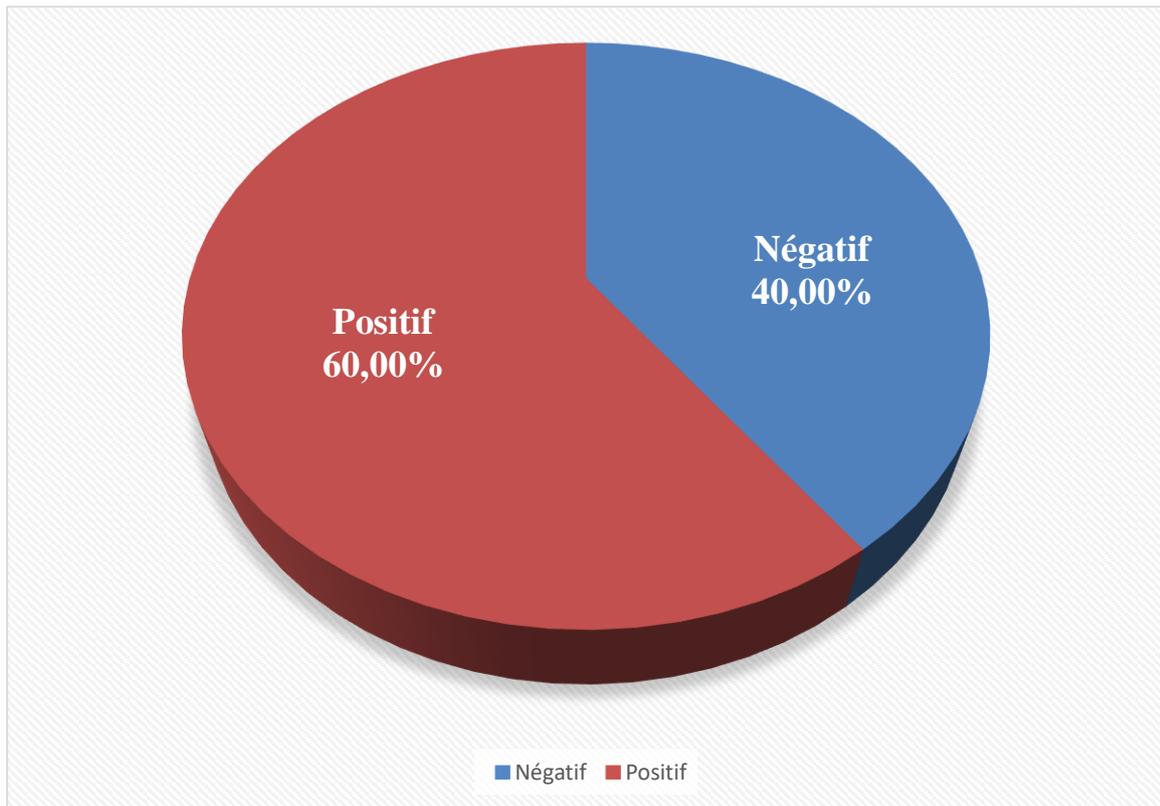
Numéro Puits	Code	DO moyenne	CV %	Variétés ou adventices	Sites	ELISA résultat
SP1	ADF1	0,504	6,73	Adny	Fobougou	+
SP2	WAB2	0,558	2,16	Wassa	M'Bewani	+
SP3	BGB1	0,185	0,38	BG	M'Bewani	-
SP4	OLN10	0,133	1,60	<i>O. longistaminata</i>	Niono	-
SP5	OLN2	0,125	3,39	<i>O. longistaminata</i>	Niono	-
SP6	IRM8	0,263	0,00	IR	Manikoura	+
SP7	IRM1	1,036	1,37	IR	Manikoura	+
SP8	KGF3	0,447	4,11	Kogoni	Fobougou	+
SP9	KGN6	0,472	3,75	Kogoni	Niono	+
SP10	WAB1	0,586	2,05	Wassa	M'Bewani	+
SP11	HYS8	0,285	0,99	Hybride indien	Sélingué	+
SP12	HYS1	0,587	0,12	Hybride indien	Sélingué	+
SP13	KGN9	0,661	7,39	Kogoni	Niono	+
SP14	IRM4	0,139	3,57	IR	Manikoura	-
SP15	SN1	0,205	1,38	Riz local	Nièna	-
SP16	LHS6	0,124	0,57	<i>Leersia hexandra</i>	Sélingué	-
SP17	HYS5	0,389	3,46	Hybride indien	Sélingué	+
SP18	ADB4	0,566	5,25	Adny	M'Bewani	+
SP19	HYS10	1,150	4,00	Hybride indien	Sélingué	+
SP20	RSOB	0,105	1,35	<i>O. barthii</i>	M'Bewani	-
SP21	IRM2	1,503	0,09	IR	Manikoura	+
SP22	IRM3	1,571	4,77	IR	Manikoura	+
SP23	IRM5	0,164	4,76	IR	Manikoura	-
SP24	IRM6	1,609	2,90	IR	Manikoura	+
SP25	BHDS3	0,118	2,40	BHD	Sélingué	-
SP26	IRM7	0,176	2,01	IR	Manikoura	-
SP27	HYS7	0,494	2,29	Hybride indien	Sélingué	+
SP28	HYS2	0,322	1,98	Hybride indien	Sélingué	+
SP29	BGN5	0,676	3,14	BG	Niono	+
SP30	HYS11	0,424	3,34	Hybride indien	Sélingué	+
SP31	WAN11	0,204	9,38	Wassa	Niono	-
SP32	OLS9	0,121	0,59	<i>O. longistaminata</i>	Sélingué	-
SP33	WAB3	0,951	2,68	Wassa	M'Bewani	+
SP34	HYS4	0,187	1,51	Hybride indien	Sélingué	-
SP35	SL1	0,176	3,21	Riz local	Loulouni	-

**DO moyenne** : densité optique moyenne, **CV** : coefficient de variation, + : Positif, - : Négatif,**SP** : Numéro des puits de la plaque ELISA

Les extraits de feuilles saines avaient des absorbances inférieures ou égales à 0,103. La variété IR avait la plus grande densité optique (1,609) et l'espèce *O. barthii* avait la plus petite valeur de la densité optique (0,105). Le coefficient de variation de la densité optique de nos répliquas étaient inférieur à 10%.

#### 5.4 Pourcentages des échantillons positifs

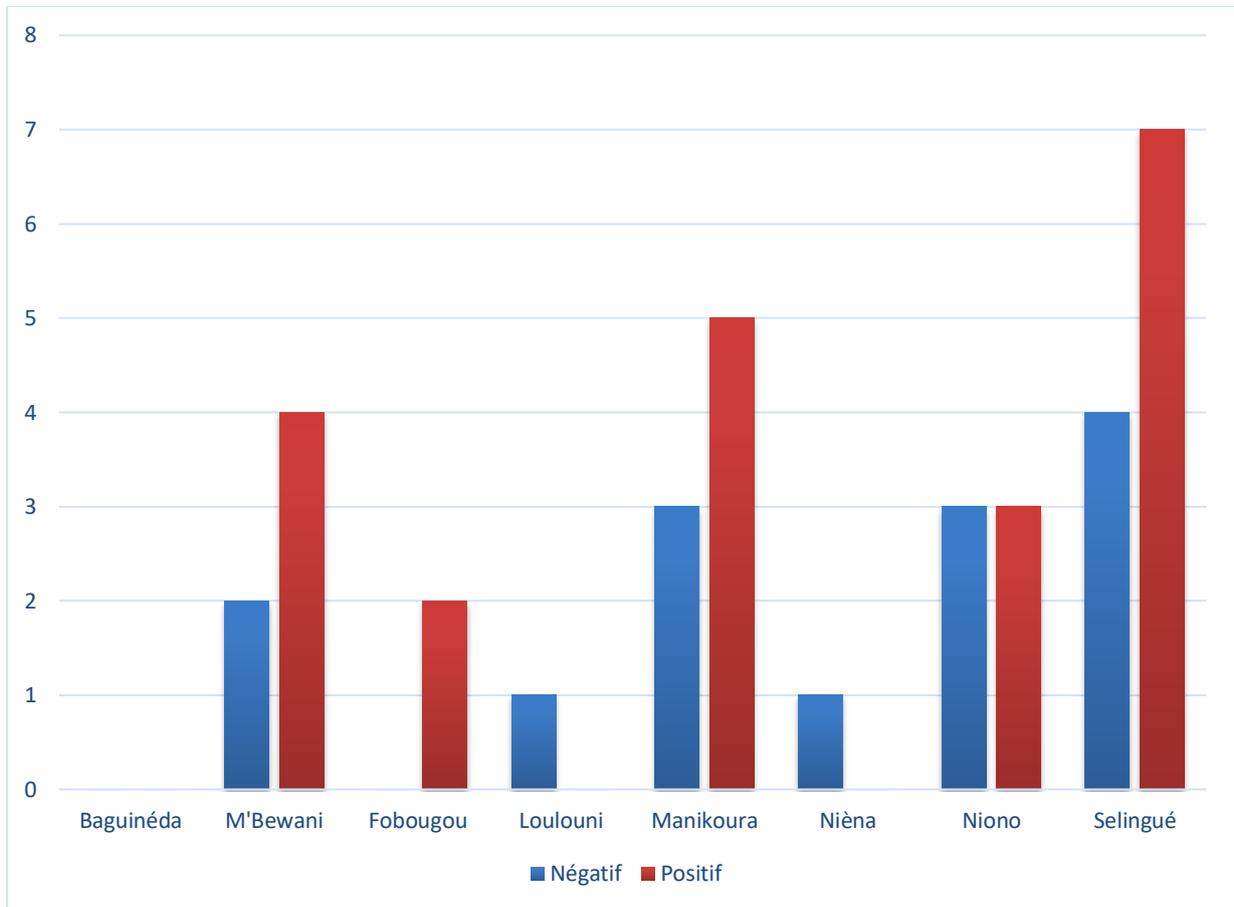
Sur un total de 35 échantillons collectés, 21 échantillons étaient positifs au test ELISA, soit un taux de positivité de 60% (Figure 10).



**Figure 10 :** Distribution des échantillons selon le résultat du test ELISA

## 5.5 Distribution des échantillons en fonction des localités et des résultats du test ELISA

La répartition des échantillons positifs est représentée par la figure suivante :



**Figure 11 :** Fréquences de RYMV dans les zones d'études selon les échantillons collectés.

Au total 21 échantillons ont été détectés positif au test ELISA. La majorité de ces échantillons provient de Selingué (33%) et Manikoura (24%).

## 6 COMMENTAIRES ET DISCUSSION

La présente étude souligne la présence de la panachure jaune dans plusieurs sites de riziculture au Mali. En effet, nous avons trouvés des échantillons positifs dans les sites de M'Bewani, Fobougou, Manikoura, Niono et Sélingué. Ces résultats est en accords avec données antérieures sur la présence de la maladie à Niono et Sélingué en riziculture irriguée au Mali [76]. Plusieurs études ont rapporté que le système de culture notamment la riziculture irriguée était favorable à la propagation de la panachure jaune du riz [77], [81], [69].

A notre connaissance, c'est la première fois que le RYMV est mis en évidence au niveau du périmètre irrigué de Manikoura. Contrairement aux études antérieures, nous nous sommes intéressés à la riziculture de bas-fond dans la région Sikasso (Loulouni, Niena), mais nous n'avons pas trouvé d'échantillons positifs malgré la présence de feuilles symptomatiques. En effet, la présence des symptômes à elle seule n'est pas suffisante pour confirmer la présence du RYMV. Malgré la similitude des symptômes, l'analyse sérologique a montré que 40% des échantillons testés ne contenaient pas le RYMV. D'où la nécessité d'associer à l'observation morphologique des tests sérologiques et/ou moléculaires [3], [83].

Par ailleurs il faut signaler qu'au cours de cette étude l'ensemble des échantillons positifs provenaient des variétés de riz cultivés. Aucun adventice ni d'espèce de riz sauvages n'a été testé positif au RYMV. Il reste à savoir si cette absence est due à la faible représentativité de ces échantillons (5/35) ou à la résistance de ces plantes vis-à-vis du RYMV.

En ce qui concerne les variétés de riz de cultivées, nous avons constatés une prévalence élevée de la panachure jaune du riz pour les variétés IR et Hybride indiens. Cela s'expliquerait en partie par l'introduction récente de ces variétés à Sélingué et à Manikoura, deux localités voisines mais aussi par le fait que Sélingué est reconnu par une forte incidence du RYMV [59].

Sur le plan méthodologique, nous avons considéré l'ensemble des feuilles collectées dans un champ comme échantillon. Ceci augmente la chance de détection de la maladie et permet en effet de mieux étudier la distribution de la maladie. Cependant cette approche ne nous permet pas d'évaluer la diversité du virus à l'échelle de la plante ou au sein de la parcelle, mais plutôt à l'échelle de site.

L'utilisation du Kit de diagnostic ELISA de la société SEDIAG, a permis certes de détecter la présence du RYMV. Mais aucune information sur les types et les souches de virus circulant au

Mali n'a été obtenu. Aussi aucune information non plus sur les anticorps ou antigènes ciblés par le kit de diagnostic utilisé n'a été fourni. Ceci relève d'un grand intérêt pour conclure qu'en à la sensibilité et la spécificité du kit.

Notre étude a porté sur 35 échantillons symptomatiques collectés répartis entre huit zones de riziculture au Mali. La sélection des symptômes et leurs recherches dans les champs pendant une journée par zone de riziculture explique la taille de nos échantillons.

L'identification symptomatique de RYMV nous avait permis de collecter 35 échantillons, cette diversité de nos échantillons montre la variabilité de l'hôte de RYMV. Cette variabilité avait été prouvée par des études antérieure [71], [66].

Les variétés IR et l'Hybride indien collectés à Manikoura et Sélingué, avaient une forte représentation dans nos échantillons (Tableau II). Ceci pourrait s'expliquer par la nouveauté des deux variétés de plante cultivée et par la forte prédominance de l'infection dans les deux localités (Tableau I). Une étude antérieure avait confirmé la présence de RYMV à Sélingué avec une forte incidence [77]. Par contre le RYMV a été détecté pour la première fois à Manikoura.

Le DAS-ELISA a détecté la présence RYMV dans 21 échantillons sur un total de 35 analysés (Tableau III). Nous pouvons confirmer avec la certitude de 60% la présence de RYMV dans les parcelles. Ceci nous montre que l'observation des symptômes du RYMV pourrait alors fournir des résultats satisfaisants pour l'estimation de l'incidence du RYMV dans les champs de riz selon beaucoup d'autres auteurs [59], [76], [30].

Malgré la similitude des symptômes, l'analyse sérologique nous a montré que 40% de nos échantillons ne contenaient pas le RYMV. Cet absence de détection du virus dans tous nos échantillons s'expliquait par la diversité de nos échantillons, d'autres études rapportaient qu'il faut toujours associer le test sérologique à l'observation morphologique [3], [83]. Les échantillons positifs étaient constitués à 100% d'espèces cultivées, cela pourrait s'expliquer par le fait que nos recherches étaient concentrées sur les champs, digue et diguettes, et la différenciation des symptômes en fonction du stade de développement et la variété de la plante. Cette différenciation des symptômes avait été confirmé par une autre étude [13].

La collecte et l'analyse des échantillons a révélé que la majorité provient de Sélingué (33%) et Manikoura (24%) ; Ces résultats pourraient s'expliquer par une autre études, qui avait eu une fréquence de 23% de la maladie à Sélingué [62].

La maladie de la panachure jaune du riz a été détectée dans 5 localités (M'Bewani, Fobougou, Manikoura, Niono et Sélingué) sur les 8 visitées ce qui montre que tous les périmètres rizicoles n'ont pas été affectés par le RYMV. En considérant la fréquence des symptômes de la maladie en fonction des échantillons colletés, les localités les plus touchées par le RYMV sont : Sélingué avec 30.56% de l'ensemble des échantillons colletés, Manikoura 22.22%, Niono 16.67, M'Bewani 16.67%, Fobougou 5.56%, Loulouni et Nièna avec 2.78% chacun. D'autres auteurs ont aussi confirmé des fréquences élevées de la présence du RYMV dans nos différents lieux de collecte (Niono 27%, Sélingué 32% et Fobougou 12%) [46], [59].

Les localités indemnes de la maladie au cours de notre étude étaient : Baguinéda, Loulouni et Nièna. Par contre, une autre étude mais antérieure avait confirmé la présence de RYMV à Baguinéda [30]. Tandis que la présence du virus dans les localités de Loulouni et Nièna n'avait pas été confirmée dans aucun document officiel. Par ailleurs d'autres auteurs au mali SARRA [77] et SAMAKE [76] ont respectivement confirmé la présence du virus à Fobougou, Niono et Sélingué [76], [84]. Les zones de riziculture affectées par le RYMV au cours de notre étude pratiquaient toutes de la riziculture irriguée (Tableau II). Ceci peut s'expliquer par la transmission de la maladie par l'eau qui avait été confirmée en 2004 par d'autre étude [46].

## **7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

### **7.1 Conclusion**

Au terme de notre étude nous avons obtenu un taux de positivité de 60% de RYMV, ces résultats nous ont permis de confirmer la présence du RYMV dans 5 localités de riziculture au Mali. Elle a montré une absence du RYMV dans les systèmes de riziculture de Bas-fonds et chez les adventices, mais il faut noter que notre étude n'a pas pris en compte certains paramètres afin de confirmer cette absence.

### **7.2 Recommandation**

Au vue de ces résultats, nous recommandons d'approfondir les recherches sur :

- La caractérisation sérologique des isolats avec l'utilisation des anticorps monoclonaux spécifique dans la détection du RYMV.
- La caractérisation moléculaire des isolats afin d'étudier la phylogénie des isolats en vue de comprendre leur classification.
- Les hôtes sauvages et réservoir du virus.
- Le criblage des variétés de riz afin d'identifier des sources de résistance pour le virus.

## 8 REFERENCES

1. OGUNBAYO, S.A., OJO, D.K., GUEI, R.G., OYELAKIN, O.O., and SANNNI, K.A. (2005) Phylogenetic diversity and relationships among 40 rice accessions using morphological and RAPDs techniques. *Afr J of Biotec*, 4 (11) : 1234-1244.
2. KUIRE E, 2018. Caractérisation , sources de résistance et aspects épidémiologiques de virus infectant le riz au Burkina Faso : Cas des virus de la nécrose à rayure et de la panachure jaune. Thèse: Agronomie. Burkina Faso: Université NAZI BONI, 71 p.
3. SOKO D F, SIENE L A C, KOTCHI V, GOGBEU S J, SERE Y, AKE S, 2015. Evaluation du niveau de sensibilité et de résistance des variétés de riz différentielles d' AfricaRice à huit isolats de la panachure jaune du riz ( RYMV ) de Gagnoa ( Côte d' Ivoire ). *J Anim Plant Sci*, 26(3): 4138–4149.
4. GNACADJA C, VIEIRA-DALODE G, RAZANABOAHIRANA P, AZOKPOTA P, SOUMANOU M M, SIE M, 2018. Revue analytique des performances agronomiques, nutritionnelles et perspectives de valorisation du riz africain (*Oryza glaberrima*). *J Appl Biosci*, 122(1): 12211.
5. N'KRUMAH A, ELBEHRI A, LEGRET B, 2013. Le riz au Mali: améliorer la compétitivité et les politiques de soutien à un développement inclusive de la filière riz. l'Afrique l'Ouest, A. Elbehri (ed.), FAO/FIDA, 455–488.
6. N'KRUMAH A, ELBEHRI A, LEGRET B, 2013. Le riz au Mali: améliorer la compétitivité et les politiques de soutien à un développement inclusive de la filière riz. l'Afrique l'Ouest, A. Elbehri (ed.), FAO/FIDA, 455–488.
7. FAO, 2017. Suivi du marché du riz de la FAO. FAO [En ligne]. 2017 Octobre [Consulté le 09/10/2018] ; 20(3): [10 pages]. Consultable à l'URL: [http: www.fao.org](http://www.fao.org)
8. SOUMARE M, SISSOKO M, MIEZAN K, 2013. Amélioration de la production de riz en Afrique de l' Ouest Etapes de mise en œuvre : Contraintes identifiées et solutions apportées. In: Eclairages sur la contribution d'APRAO au développement du secteur rizicole au mali ; Mai 2013 Bamako (Mali).
9. KONATE G, and FARGETTE D. (2002) Overview of Rice yellow mottle virus. *Plant Virol. sub-Saharan Africa*, 1-17.
10. NWILENE, F.E. (1999) Current status and management of insect vectors of rice yellow mottle virus. *Insect Sci Applic*, 19(2): 179–185.
11. MOGGA, M.L., LAMO, J., ASEA, G., GIBSON, P., EDEMA, R. (2012) Reaction of rice cultivars to a virulent rice yellow mottle virus strain in Uganda,” *African Crop Sci*

- J, 20: 51–57.
12. SY M A, 2014. La panachure jaune du riz en Afrique: importance économique et stratégiques de gestion. In: Communication à l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse ; le 10 Avril 2014 ; Toulouse (France).
  13. SY M A, 2014. La panachure jaune du riz en Afrique: importance économique et stratégiques de gestion. In: Communication à l'Académie des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse ; le 10 Avril 2014 ; Toulouse (France).
  14. OUATTARA B, Le virus de la panachure j une du riz (RYMV) en Afrique de l'Ouest : caractérisation moléculaire des souches, identification de sources de résistance et détermination des aspects épidémiologiques du virus. Mémoire : Agronomie. Burkina Faso : Université NAZI BONI, 99 p.
  15. FAO, 2009. Stratégie nationale de développement de la riziculture [En ligne]. 2009 Mai [Consulté le 03/02/2021] ; [28 pages]. Consultable à l'URL : <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/Mli170029.pdf>
  16. LACHARME M, 2001. Mémento Technique de la riziculture « Fascicule 2 » Données morphologiques et cycle de la plante [En ligne]. 2001 Juin [Consulté le 29/05/2020] [39 pages]. Consultable à l'URL: [http://www.on-mali.org/joomlaa/\\_GED/pdf/](http://www.on-mali.org/joomlaa/_GED/pdf/).
  17. PORTERES R, 2016. Taxonomie Agrobotanique des Riz cultivés *O. saliva* L. et *O. glaberrima* Steudel. J d'agricul of the Botaniq Appl, 3(7): 341-384.
  18. CHEVALIER A, 2018. Nouvelle Contribution à l' étude systématique des *Oryza*. Rev Bot appliquée d'agriculture Colon, (136): 1014–1032.
  19. CHEVALIER A, 2013. Sur les Riz africains du groupe *Oryza glaberrima*. Rev Bot appliquée d'agriculture Colon, 17(190): 413–418.
  20. KABORE E, 2015. Role des petits ARNs et expression des principaux genes de la voie du silencing au cours de l'infection du virus de la panachure jaune du riz. Mémoire: Master II Biologie Moléculaire Génétique Moléculaire Appliquées. Ouagadougou: Université de Ouagadougou, 54 p.
  21. The Plant List. (2010) The plant list (TPL). [En ligne]. Decembre 2010 [Consulté le 20/01/2021] ; Consultable à l'URL: <http://www.theplantlist.org/>
  22. RADANIELINA T, 2010. Diversité génétique du riz (*Oryza sativa* L.) dans la région de Vakinankaratra, Madagascar: Structuration, distribution éco-géographique & gestion in situ, Thèse: Génétique et amélioration des plantes. Montpellier: Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), 161 p.
  23. BEZANÇON G, 2014. Riziculture traditionnelle en Afrique de l'Ouest : valorisation et

- conservation des ressources génétiques. *J d'agriculture Tradit Bot appliquée*, 37(2): 3-24.
24. TRAORE, V.S.E. (2013) Marker assisted selection for resistance to rice yellow mottle virus in farmers preferred rice varieties in burkina faso by. Thèse: Doctor of philosophy degree in plant breeding. Ghana: University of Ghana, 154 p.
  25. NGUETTA A S P, LIDAH J Y, EBELEBE C N M, GUEI R G, 2006. Sélection de variétés performantes de riz pluvial (*Oryza sp.*) dans la région subéquatoriale du Congo Brazzaville, *Afrique Science*, 02 (3) 352 – 364.
  26. LAIGNELET B, 1998. Le riz, in Godon, B. et Willm, C. Les industries de première transformation des céréales, Lavoisier. Tec et Doc/Api. Paris : 75- 83, 679.
  27. JICA/AGRA, 2008. Coalition pour le développement de la riziculture en Afrique (Traduction non certifié). [En ligne]. 2008 Mai [Consulté le 18/05/2018] ; [29 pages]. Consultable à l'URL: <http://www.jica.go.jp/activities/issues/agricul/pdf>
  28. COULIBALY Y M, HAVARD M, 2013. Evolution et perspectives de la transformation du riz à l' Office du Niger au Mali. In: Transformation et commercialisation du riz ; 21-24 Octobre 2013 ; Yaoundé (Cameroun).
  29. GNACADJA C, VIEIRA-DALODE G, RAZANABOAHIRANA C, AZOKPOTA P, Mohamed SOUMANOU M, SIE M, 2018. Revue analytique des performances agronomiques, nutritionnelles et perspectives de valorisation du riz africain (*Oryza glaberrima*). *J. Appl. Biosci.* 122: 12211-12230.
  30. COULIBALY M M, 1999. Etude de la résistance du riz (*Oryza sp.*) au virus de la panachure jaune du riz (RYMV). Thèse: Biologie et Ecologie Vegetale. Ouagadougou: Université de Ougadougou 121 p.
  31. WOPEREIS M C S, DEFOER T, IDINOBA P, DIACK S, DUGUE M-J, 2008. Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fond (GIR) en Afrique subsaharienne: Manuel technique. Cotonou, Benin: le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 128 p.
  32. SERGHAT S, MOURIA A, OUAZZANI A T, BADO A, DOUIRA A, 2004. Effet de quelques fongicides sur le développement in vitro de *pyricularia grisea* et *helminthosporium oryzae*. *Bull Soc Pharm Bord*, 143(1): 7–18.
  33. LOZANO, I. and MORALES, F. (2009) Molecular characterisation of Rice stripe necrosis virus as a new species of the genus Benyvirus. *Eur J Plant Pathol*, 124(4): 673–680.
  34. ABO M E, SY A A, ALEGBEJO M D, 1997. Evolution, Distribution, Economic

- Significance on Sustainable Rice Production and Management Strategies. *Journal of Sustainable Agriculture*, 11(2-3): 85-111.
35. N'GUESSAN K P, FARGETTE D, SY A A, PINEL A, 1996. Caractérisation d'isolats du virus de la panachure jaune riz (RYMV) en Côte d'Ivoire. In : Première conférence internationale de virologie et de microbiologie. Société camerounaise de microbiologie, IUMS. Yaoundé : Société camerounaise de microbiologie, Résumé, 108. Conférence internationale de virologie et de microbiologie. 1, Yaoundé, Cameroun, 17 Novembre 1996/23 Novembre 1996.
  36. TRAORE, M.D., TRAORE, V.S.E., GALZI-PINEL, A., FARGETTE, D., KONATE, G., TRAORE, A.S. and TRAORE, O. (2008) Abiotic transmission of Rice yellow mottle virus through soil and contact between plants. *Pakistan J Biol Sci*, 11(6): 900-904.
  37. BAKKER W. (1974) Characterization and ecological aspects of rice yellow mottle virus. *Agric Res Rep* (829): 152, 1974.
  38. ADRAO, 2000. Le virus de la panachure jaune du riz. Rapport annuel ADRAO. Bamako, (Mali). 37 p.
  39. SADOU I, WOIN N, GHOGOMU T R, DJONMAILA K M, 2008. Inventaire des insectes ravageurs et vecteurs de la panachure jaune du riz dans les périmètres irrigués de Maga ( Extrême Nord Cameroun ). *Tropicultura*, 26(2): 84–88.
  40. HEBRARD, E., FARGETTE, D. and KONATE, G. (2009) Rice Yellow Mottle Virus. *Encycl. Virol*, 54(4): 485-490.
  41. HALIMI, H., BRUGIDOU, C., FARGETTE, D., FAUQUET, C., REGENMORTEL, M.V. and PINEL, A. (2003) Comparison of molecular and immunological typing of isolates of Rice yellow mottle virus,” *Arch. Virol*, 147(3): 583–596.
  42. SARRA, S. and PETERS, D. (2003) Rice yellow mottle virus is transmitted by cows, donkeys, and grass rats in irrigated rice crops. *Plant Dis*, 87(7): 804–808.
  43. TRAORE, M.D., TRAORE, V.S.E., GALZI-PINEL, A., FARGETTE, D., KONATE, G., TRAORE, A.S. and TRAORE O. (2008) Abiotic transmission of Rice yellow mottle virus through soil and contact between plants. *Pakistan J Biol Sci*, 11(6): 900-904.
  44. ALLARANGAYE, M.D., TRAORE, O., TRAORE, E.V.S., MILLOGO, R.J. and KONATE, G. (2006) Evidence of non-transmission of Rice yellow mottle virus through seeds of wild host species. *J Plant Pathol*, 88(3): 309–315.
  45. PIDON H, 2016. Diversité des bases génétiques de la résistance au virus de la panachure jaune du riz ( RYMV ) dans l' espèce de riz africain *Oryza glaberrima*. Thèse: Sciences

agricoles. Montpellier: Université Montpellier, 172 p.

46. SARRA, S., OEVERING, P., GUINDO, S. and PETERS, D. (2004) Wind-mediated spread of Rice yellow mottle virus (RYMV) in irrigated rice crops. *Plant Pathol*, 53(2): 148–153.
47. FOMBA, S.N. (1988) Screening for Seedling Resistance to Rice Yellow Mottle Virus in Some Rice Cultivars in Sierra Leone. *J Plant Dis*, 72(7): 641.
48. DANFORTH, D. and BRUGIDOU, C. (2005) Distribution and characterization of Rice yellow mottle virus: A threat to African farmers. *J Plant Disease*, 89(2): 124–133.
49. SOKO, D.F., AYOLIE, K., KOFFI, N.B.C., TONESSIA, D.C., SERE, Y., KOUAKOU, T.H. and AKE, S. (2016) Impact of eight isolates of Rice Yellow Mottle Virus (RYMV) from Gagnoa (Côte d'Ivoire) on rice (*Oryza* sp) cultivars production. *Int J Biol Chem Sci*, 9(5): 2459.
50. QU, C., LILJAS, L., OPALKA, C.B., YEAGER, M., BEACHY, R.N., FAUQUET, C.M., JOHNSON, J.E. and LIN, T. (2000) 3D domain swapping modulates the stability of members of an icosahedral virus group. *J Structure*, 8(10): 1095–1103.
51. NDJIONDJOP, M.N., ALBAR, L., FARGETTE, D., FAUQUET C. and GHESQUIERE A. (1999) The genetic basis of high resistance to rice yellow mottle virus (RYMV) in cultivars of two cultivated rice species. *J Plant Dis*, 83(10): 931–935.
52. BOISNARD, A., ALBAR, L., THIEMELE, D., RONDEAU, M. and GHESQUIERE, A. (2007) Evaluation of genes from eIF4E and eIF4G multigenic families as potential candidates for partial resistance QTLs to Rice yellow mottle virus in rice. *Theor Appl Genet*, 116: 53–62.
53. LING, R., PATE, A.E., CARR, J.P. and FIRTH, A.E. (2013) An essential fifth coding ORF in the sobemoviruses. *J Virology*, 446(1-2): 397-408.
54. GILLET, F.X., CATTONI, D.I., PETIOT-BECARD, S., DELALANDE, F., POIGNAVENT, V., BRIZARD, J-P., BESSIN, Y., DORSSELAER, A.V., DECLERCK, N., SANGLIER-CIANFERANI, S., BRUGIDOU, C. and VIGNOLS, F. (2013) The RYMV-Encoded Viral Suppressor of RNA Silencing P1 Is a Zinc-Binding Protein with Redox-Dependent Flexibility; *J Mol Biol*, 425(14): 2423–2435.
55. HEBRARD, E., PINEL-GALZI, A., BERSOULT, A., SIRE, C. and 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. *J Gen Virol*, 87(5): 1369–1373.
56. FARGETTE D, PINEL A, ABUBAKAR Z, TRAORE O, BRIGIDOU C, FATOGOMA

- S, HEBRARD E, CHOISY M, SERE Y, FAUQUET C, KONATE G. (2004) Inferring the Evolutionary History of Rice Yellow Mottle Virus from Genomic, Phylogenetic, and Phylogeographic Studies. *J of Virology*, 78(7): 3252–3261.
57. KOUASSI, N.K., CHEN, L., SIRE, C., BANGRATZ-REYSER, M., BEACHY, R.N., FAUQUET, C.M. and BRIGIDOU, C. (2006) Expression of rice yellow mottle virus coat protein enhances virus infection in transgenic plants. *Arch Virol*, 151(11): 2111–2122.
58. TRAVAO, N.S., BAELE, G., VRANCKEN, B., BIELEJEC, F., SUCHARD, M.A., FARGETTE, D. and LEMEY, P. (2015) Host ecology determines the dispersal patterns of a plant virus. *Virus Evol*, 1(1): 16.
59. KONATE G, GUMEDZOE M, TRAORE E, TRAORE O, 2008. Diagnostic sérologique des isolats soudano-sahéliens du virus de la panachure jaune du riz (Rice Yellow Mottle Virus, RYMV). *Tropicultura*, 26(2): 74–77.
60. SOKPE-LONGUE, R.D., ZINGA, I., SEMBALLA, S., BARRO, N. and TRAORE, O. (2016) Detection and Serological Characterization of Rice Yellow Mottle Virus in Central African Republic. *J Agric Sci*, 07(12): 911–919.
61. N'GUESSAN, P., PINEL, A., SY, A.A., GHESQUIERE, A. and FARGETTE D. (2001) Distribution, pathogenicity, and interactions of two strains of Rice yellow mottle virus in forested and savanna zones of West Africa. *J Plant Dis*, 85(1): 59–64.
62. TRAORE, O., TRAORE, M.D., FARGETTE, D. and KONATE, G. (2006) “Rice seedbeds as a source of primary infection by Rice yellow mottle virus. *Eur J Plant Pathol*, 115(2): 181–186.
63. PINEL-GALZI, A., HEBRARD, E., TRAORE, O., SILUE, D. and ALBAR, L. (2018) Protocol for RYMV Inoculation and Resistance Evaluation in Rice Seedlings. *Bio-Protocol*, 8(11), 1–13.
64. AYAKA, U., NASWIRU, T., NOBUHITO, S. and NOBUAKI, O. (2015) Characterization of Rice yellow mottle virus in north-eastern Tanzania. *J Agric Sci Tokyo Nogyo Daigaku*, 60(3): 116–126.
65. ABUBAKAR Z, ALI F, PINEL A, TRAORE O, N'GUESSAN P, NOTTEGHEM J-L, KIMMINS, F., KONATE, G. and FARGETTE, D. (2003) Phylogeography of Rice yellow mottle virus in Africa. *J Gen Virol*, 84(3): 733–743.
66. TRAORE O, SORHO F, PINEL A, ABUBAKAR Z, BANWO O, MALEY J, HEBRARD, E., WINTER, S., SERE, Y., KONATE G. and FARGETTE, D. (2005) Processes of diversification and dispersion of Rice yellow mottle virus inferred from

- large-scale and high-resolution phylogeographical studies. *Mol Ecol*, 14(7): 2097–2110.
67. KOUASSI, N.K., N'GUESSAN, P., ALBAR, L., FAUQUET, C.M. and BRUGIDOU, C. (2005) Distribution and Characterization of rice yellow mottle virus : A Threat to African Farmers. *Plant Dis.* 89 :10.
68. TRAORE O, TRAORE K V S, ALLARANGAYE M D, GUMEDZOE M Y D, FARGETTE D, KONATE G, 2005a. Identification d'isolats virulents du virus de la panachure jaune du riz : une menace pour la lutte génétique contre le virus ? *Maladies virales des plantes au Sahel. Fiche technique. Burkina Faso* 2p.
69. TRAORE O, TRAORE K V S, ALLARANGAYE M D, GUMEDZOE M Y D, FARGETTE D, KONATE G, 2005b. Les modes de transmission du virus de la panachure jaune du riz. *Maladies virales des plantes au Sahel. Fiche technique. Burkina Faso.* 2p.
70. ALBAR, L., BANGRATZ-REYSER, M., HEBRARD, E., NDJIONDJOP, M-N., JONES, M. and GHESQUIERE, A. (2006) Mutations in the eIF ( iso ) 4G translation initiation factor confer high resistance of rice to Rice yellow mottle virus. *The Plant Journal*, 47: 417–426.
71. AMANCHO N, DIALLO H, KOUASSI N, BOUET A, N'GUESSAN P, 2009. Criblage de quelques variétés de riz de Côte d'Ivoire pour la résistance à la panachure jaune du riz : incidence de la maladie sur quelques caractères agronomiques. *Sci. Nat*, 6(1): 27–37.
72. LEUNG, H., ZHU, Y., REVILLA-MOLINA, I., FAN, J.X., CHEN, H., PANGGA, I., CRUZ, C.V. and MEW, T.W., (2003) Using Genetic Diversity to Achieve Sustainable Rice Disease Management. *Plant Disease*, 87(10): 1156–1169.
73. SORHO, F., PINEL, A., TRAORE, O., BERSOULT, A., GHESQUIERE, A., HEBRARD, E., KONATE, G., SERE, Y. and FARGETTE, D. (2005) Durability of natural and transgenic resistances in rice to Rice yellow mottle virus. *Euro J of Plant Path*, 112: 349–359.
74. PIDON, H., GHESQUIERE, A., CHERON, S., ISSAKA, S., HEBRARD, E., SABOT, F., KOLADE, O., SILUE, D. and ALBAR, L. (2017) Fine mapping of RYMV3: a new resistance gene to Rice yellow mottle virus from *Oryza glaberrima*, *Theor Appl Genet*, 130(4): 807–818.
75. JOHN, V.T., THOTTAPILLY, G. and AWODERU, V.A. (1984) Occurrence of rice yellow mottle virus in some Sahelian countries in West Africa. *FAO Plant Prot. Bull.*

32 :86-87.

76. SAMAKE, S., TRAORE, D., GOITA, O., SARRA, S., DAO, S., DOUMBIA, B. and BABANA, A.H. (2018) Genetic diversity of rice yellow mottle virus from Niger Office and Selingue Development Rural Office in Mali. *J Gen Mol Virol*, 8(1): 1–7.
77. SARRA, S. (2005) Novel insights in the transmission of Rice yellow mottle virus in irrigated rice. Thèse: Phytopathologie. Netherlands: Wageningen University, 112p.
78. CLARK M F, ADAMS A N, 1977. Caractéristiques de la méthode de microplaque de dosage immuno-enzymatique pour la détection des virus végétaux. *Journal of General Virol*, (34) : 475-483.
79. ALKALI, G., ALEGBEJO, M.D., KASHINA, B.D. and BANWO, O.O. (2015) Rice yellow mottle sobemovirus; a limiting factor in rice production in Africa. *MATLAB® Photomech A Prim*, 2(2): 655-664.
80. BAZIN F, 2017. Analyse des systèmes de production du périmètre irrigué de Sélingué (Mali). Rapport [En ligne]. 2017 Janvier [Consulté le 08/09/2020] ; [73]. Consultable à l'URL : <http://pubs.iied.org/pdfs/G04203.pdf>
81. RUTABARA H, 2017. La perception de l'entretien du réseau de drainage et sa solution selon les agriculteurs- Etude de cas de Baguinéda Amont. Mémoire de Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Infrastructures et réseaux hydrauliques. Ouagadougou; Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 59 p.
82. LIDON B, SIMPARA M, 1991. Contrainte du milieu naturel et intérêt de l'aménagement des bas-fonds : cas du Mali. In : CIRAD ; 9-14 décembre, Antananarivo (Madagascar).
83. SANON O, 2016. Aspect épidémiologique du virus de la panachure jaune du riz dans les plantes rizicoles de Banzon et de la vallée du Kou et criblage de variétés de riz vis-à-vis de ce pathogène. Mémoire: Vulgarisation Agricole. Burkina Faso: Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 62 p.
84. ALKALI, G. (2012) Epidemiology, molecular characterization and yield loss assessment of rice due to rice yellow mottle sobemovirus in northern Nigeria. These: Ph D, Sc Agric M Sc Plant Pathology. Nigeria: University Ahmadu Bello, 261 p.

## 9 ANNEXES

### Annexe 1 : Préparation des solutions tampons pour l'ELISA

#### A. PBS 1X

Dissoudre dans 1L d'eau distillée :

NaCl .....	8 g
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> -12H <sub>2</sub> O .....	2,9 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	0,2 g
KCl .....	0,2 g
NaN <sub>3</sub> .....	0,2 g

Cette solution est à pH 7,4

#### B. PBST 1X = Tampon de Lavage 1X

A 1L de PBS, ajouter :

Tween20 .....	0,5 mL
---------------	--------

Cette solution est à pH 7,4

#### C. Tampon d'extraction Général 1X

A 1L de PBS, ajouter :

PVP (Mw 10,000-40,000) .....	10 g
Tween20 .....	0,5 mL

Cette solution est à pH 7,3

#### D. Tampon Coating 1X

Dissoudre dans 1L d'eau distillée :

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	1,59 g
NaHCO <sub>3</sub> .....	2,93 g
NaN <sub>3</sub> .....	0,2 g

Pourpre de Bromocresol ..... 5 mg

Cette solution est à pH 9,6

### **E. Tampon Conjugué 1X**

A 1L de PBST, ajouter :

BSA ..... 2 g

Rouge Congo ..... 40 mg

Cette solution est à pH 7,4

### **F. Tampon Substrat (pNPP) 1X**

Dissoudre dans 1L d'eau distillée :

Diéthanolamine ..... 97 ml

NaN<sub>3</sub> ..... 0,2 g

Ajuster le pH à 9.8 avec HCl

## FICHE SIGNALÉTIQUE

**Nom :** MACALOU

**Prénom :** Boubacar

**Section :** Pharmacie

**Titre :** Etude de la distribution du virus de la panachure jaune du riz au Mali par la méthode sérologique.

**Année :** 2019-2020

**Pays :** Mali

**Lieu de dépôt :** Bibliothèque de la Faculté de Pharmacie et de la Faculté de Médecine et d'Odontostomatologie (FAPH/FMOS).

**E-mail :** bmacalou47@gmail.com

**Secteur d'intérêt :** Microbiologie, Phytopathologie

### Résumé

La panachure jaune du riz est une maladie virale endémique en Afrique ; c'est l'une des principales causes de pertes de production du riz. Dans le souci de réduire ce problème notre étude avait pour but d'étudier la distribution du virus de la panachure jaune du riz au Mali par une méthode sérologique. Cette étude prospective, s'étendait sur les principales zones de riziculture irriguée et de bas-fonds au Mali, avec un total de 35 échantillons collectés portant les symptômes du RYMV. Afin de confirmer les symptômes du RYMV sur les feuilles, nous avons utilisé le test ELISA sandwich direct (DAS-ELISA) au laboratoire de biologie moléculaire appliquée (LBMA) au Mali. Après l'analyse sérologique nous avons noté un taux de positivité de 60% de RYMV, et la présence du RYMV dans 5 sites de riziculture irriguée.

**Mots clés :** Rice Yellow Mottle Virus, Sérologie, Double Anticorps Sandwich-ELISA, Laboratoire de Biologie Moléculaire Appliquée, Mali.

## SERMENT DE GALIEN

Je jure, en présence des maitres de la faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;

D'exercer dans l'intérêt de la Santé Publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la Législation en vigueur mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobres et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Je le jure !