

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
ABREVIATIONS	v
GLOSSAIRE.....	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
INTRODUCTION.....	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I. GENERALITES SUR LE RIZ.....	3
1. HISTORIQUE.	3
2. POSITION SYSTEMATIQUE DU RIZ.	3
3. DESCRIPTION BOTANIQUE.....	4
Morphologie du riz.....	4
4. CYCLE VEGETATIF DU RIZ.....	5
5. ECOLOGIE DU RIZ.	5
6. CULTURE DU RIZ.....	5
7. LE SYSTEME SCV OU SEMIS SUR COUVERTURE VEGETALE.	6
8. LE GRAIN DE RIZ.....	6
8.1 Structure d'un grain de riz.	6
8.2 Transformation du riz.	7
9. CONSOMMATION DU RIZ.....	7
II. QUALITE ALIMENTAIRE DU RIZ.....	8
1. COMPOSITION NUTRITIONNELLE DU RIZ.	8
1.1 Glucides.....	8
1.2 Protéines.....	9
1.3 Lipides.....	9
1.4 Valeur énergétique.....	9

1.5	Fibres alimentaires et éléments minéraux.	10
III.	LE SON DE RIZ.....	10
1.	DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DU SON DE RIZ.	10
2.	CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES DU SON DE RIZ.....	11
3.	UTILISATION DU SON DE RIZ.....	12
	MATERIELS ET METHODES	13
I.	MATERIELS D'ETUDE.	13
1.	CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES.....	13
2.	TRANSFORMATION DE L'ECHANTILLON.	13
3.	RENDEMENT EN SOUS-PRODUITS DU RIZ.....	14
II.	CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE ET NUTRITIONNELLE DES ECHANTILLONS.....	14
1.	ETUDE DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU RIZ.	14
1.1	Détermination des dimensions du grain de riz.	14
1.2	Détermination du poids de mille grains.....	14
1.3	Détermination du taux de grains entiers.	14
2.	CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES ECHANTILLONS.....	15
2.1	Etude de la composition nutritionnelle.	15
2.1.1	Détermination de la teneur en eau et en matière sèche	15
2.1.2	Détermination de la teneur en cendres brutes.	16
2.1.3	Détermination de la teneur en lipides.	17
2.1.4	Détermination de la teneur en protéines.	17
2.1.4.1	<i>Détermination de la teneur en protéines totales.</i>	<i>17</i>
2.1.4.2	<i>Etude quantitative de la composition en acides aminés.</i>	<i>18</i>
2.1.4.3	<i>Détermination de l'indice chimique et acide aminé facteur limitant des protéines.</i>	<i>19</i>
2.1.5	Détermination de la teneur en glucides totaux.....	19
2.1.6	Détermination de la teneur en amidon du riz.....	20

2.1.6.1	Détermination du pouvoir rotatoire total P.	20
2.1.6.2	Détermination du pouvoir rotatoire P'.	20
2.1.7	Détermination de la valeur énergétique totale.	21
2.2	Dosage des facteurs antinutritionnels : les phytates.	21
	Dosage des phytates.	22
2.3	Détermination de la capacité antioxydante.	22
2.3.1	Mesure de la capacité antioxydante par le radical DPPH.	22
2.3.2	Préparation de la solution de DPPH.	22
2.3.3	Préparation de la solution de Trolox.	23
2.3.4	Mesure de la capacité antioxydante du son de riz.	23
	RESULTATS ET DISCUSSION	25
I.	CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES.	25
1.	RENDEMENT A L'USINAGE.	25
2.	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAIN DE RIZ.	25
3.	CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES DU GRAIN ET DU SON DE RIZ...	26
3.1	Teneur en eau et matière sèche.	26
3.2	Teneur en cendres brutes.....	27
3.3	Teneur en lipides totaux.....	27
3.4	Teneur en protéines totales	28
3.5	Teneur en acides aminés.	29
3.6	Taux d'acides aminés indispensables.	30
3.7	Indices chimiques des acides aminés essentiels et des protéines.....	31
3.8	Teneur en glucides totaux pour 100g de matière sèche	32
3.9	Teneur en amidon du riz.	33
3.10	Valeur énergétique globale des échantillons.....	33
3.11	Teneur en phytates.	33

3.12 Capacité antioxydante de l'huile de son de riz.	34
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35
ANNEXES.....	43

ABREVIATIONS

AFNOR : Agence Française de Normalisation.

Av-JC : Avant-Jésus-Christ.

CIRAD : Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement.

DPPH : **d**iphényle **p**icryl**h**ydrazyl (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

DRDR : Direction Régionale du Développement Rural.

FAO : Food and Agriculture Organization (organisation des nations unis pour l'alimentation et l'agriculture).

FOFIFA : Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'ny Fampanandrosoana ny Ambanivohitra (Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural).

INSTAT : Institut national de la statistique.

ISO : International Organization for Standardisation (Organisation Internationale de Normalisation).

LABASAN: Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition.

L/l : Longueur/largeur.

MS : matières sèches.

PMG : Poids de Mille Grains.

TGE : Taux de Grains Entiers.

UBAP : Unité de Biotechnologie et Amélioration des Plantes.

GLOSSAIRE

Balle de riz : ensemble des enveloppes (glumes et glumelles) qui recouvrent le grain de riz.

Epiaison : stade de développement des graminées correspondant à l'apparition de l'épi en dehors de la gaine des feuilles.

Organoleptique : révèle la perception d'un produit par les organes de sens.

Pyriculariose : maladie du riz d'origine fongique, qui attaque les parties aériennes du plant (tige, feuille et panicule).

Qualité alimentaire : aptitude d'un produit à satisfaire les besoins du consommateur.

Riz décortiqué (cargo) : riz paddy dont la balle seule a été enlevée.

Riz paddy : riz muni de sa balle après battage.

Sahafa : ustensile en plateau métallique légèrement concave servant au vannage du riz.

Vary maina : riz cuit jusqu'à absorption totale de l'eau de cuisson, de consistance assez ferme.

Vary sosoa : riz cuit dans un excès d'eau de consistance plus fluide et plus molle.

Laoka : mets ou sauce destiné à accompagner le riz.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Morphologie d'un plant de riz.....	4
Figure 2 : Structure d'un grain de riz ou paddy	6
Figure 3 : Processus de transformation du riz	7
Figure 4 : Transformation du riz et extraction du son.....	11
Figure 5 : Décorticage et séparation des différentes parties du riz.	13
Figure 6 : Transformation des échantillons en farine.....	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Température de l'air nécessaire à la culture du riz.	5
Tableau 2 : Taux de glucides digestibles pour 100 g de matière sèche.....	8
Tableau 3 : Pourcentage de la teneur en quelques acides gras essentiels.....	9
Tableau 4 : Valeur énergétique de grains de riz en kilocalorie.	9
Tableau 5 : Teneurs en fibres et en quelques éléments minéraux du riz nature.	10
Tableau 6 : Composition nutritionnelle pour 100 g de son.	11
Tableau 7 : Teneur en vitamines et en minéraux dans 100 g de son de riz.....	12
Tableau 8 : Rendement à l'usinage en pourcentage de paddy.	25
Tableau 9 : Caractéristiques physiques des grains de riz.	25
Tableau 10 : Teneur en eau et en matière sèche.....	26
Tableau 11 : Teneur en cendres brutes pour 100 g d'échantillon.	27
Tableau 12 : Taux de lipides totaux pour 100 g de matière sèche.	27
Tableau 13 : Teneur en protéines totales pour 100 g de matière sèche.....	28
Tableau 14: Teneurs en acides aminés des protéines pour 100 g de MS.	29
Tableau 15 : Teneurs en acides aminés par rapport à 100 g de protéines.	30
Tableau 16 : Teneurs (%) en acides aminés indispensables.....	31
Tableau 17 : Scores chimiques de la variété de riz selon le profil de référence des enfants de moins de 2 ans.	31
Tableau 18 : Scores chimiques des protéines de la variété de riz selon le profil de référence des enfants de plus de 2 ans et adultes.	32
Tableau 19 : Teneur en glucides totaux pour 100 g de MS.....	32
Tableau 20 : Comparaison de la teneur en glucides du riz avec quelques aliments usuels.....	32
Tableau 21 : Comparaison de la teneur en amidon de quelques variétés de riz (g/100 g de MS).....	33
Tableau 22 : Valeur énergétique globale pour 100 g de matière sèche.....	33

INTRODUCTION

Le riz fait partie prépondérante des céréales les plus consommées à l'échelle mondiale. Il constitue l'aliment de base de nombreux pays du monde, plus particulièrement en Asie.

A Madagascar, le riz est un emblème alimentaire pour la population. Il est indispensable dans l'alimentation des Malagasy car, « un repas sans riz est un repas de rien » (SERPANTIE *et al.*, 2007).

En fonction de sa disponibilité au niveau des ménages, le riz est consommé trois fois par jour (matin, midi et soir), plus particulièrement le soir car, « qui dine en riz, dort » (BLANC-PAMARD *et al.*, 2000).

La culture du riz est au cœur des activités agricoles malgaches. Elle occupe jusqu'à 45% des terres cultivables avec deux à trois récoltes par an, selon la variété (INSTAT/DSM, 2011). Elle emploie en elle seule jusqu'à 90% des agriculteurs (<http://www.ricehub.org>).

Cependant, en raison de la croissance démographique, la réduction des espaces agricoles et des pratiques culturelles traditionnelles, le pays tombe chaque année dans l'obligation d'importer cette denrée ; la production locale n'étant toujours pas satisfaisante pour les besoins qu'exprime la population. Les rapports récents de la FAO classent Madagascar au 2^{ème} rang des plus grands consommateurs du riz après le Myanmar, alors qu'il n'occupe que la 19^{ème} position en matière de production rizicole avec ses 1,2 million d'hectares disposés à la riziculture et 3,4 millions de tonnes de paddy produit par an (RAKOTOSEHENO, 2017). Pour maîtriser ces besoins, les institutions liées à la filière se mettent à rehausser le domaine rizicole par des variétés améliorées. Le Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural (FOFIFA) et l'Unité de Biotechnologie et Amélioration des plantes (UBAP) de la mention Biologie et Ecologie végétale de la faculté des sciences de l'université d'Antananarivo concentrent leurs travaux de recherche sur la création et la multiplication de variétés de riz productives, résistantes aux maladies ainsi qu'aux contraintes des aléas climatiques. La présente étude sur les caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles de la nouvelle variété de riz « MADIKATRA » s'insère dans cet axe et complète celles déjà menées par le Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition (LABASAN) en collaboration avec le FOFIFA, en vue de promouvoir sa diffusion et sa consommation.

La première partie de ce travail, après une introduction générale est consacrée à une étude bibliographique sur les travaux antérieurs effectués sur le riz. La deuxième partie décrit les matériels et les méthodes adoptés pour cette étude. La troisième partie présente les

résultats obtenus, leurs interprétations ainsi que la discussion. La conclusion et quelques perspectives sont présentées dans la dernière partie du document.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LE RIZ.

Le riz est une céréale annuelle de la famille des Graminées qui pousse grandement dans les régions chaudes. Il est utilisé par plus de la moitié de la population du globe comme aliment de base, fournissant près de 50% de l'apport énergétique total du régime alimentaire. Le riz est aussi utilisé dans de nombreux domaines de l'industrie agroalimentaire, tels que la fabrication des pâtes alimentaires, l'alcool, l'huile, l'amidon, également pour l'alimentation animale (ENCARTA, 2009).

1. HISTORIQUE.

Pendant des longues années, le riz restait connu sous son état sauvage. Il appartient au genre *Oryza* qui compte environ 23 espèces. Parmi ces espèces, *Oryza sativa* L., originaire d'Asie et *Oryza glaberrima* Steud., originaire d'Afrique sont les seules exploitées en culture (RADANIELINA, 2010). Depuis plus de 9 000 ans avant-Jésus-Christ (av-J.C), l'espèce *Oryza sativa* L. a connu sa domestication, c'est-à-dire 5 000 ans avant l'espèce africaine (CIRAD, 2002). A Madagascar, cette culture a intégré le territoire via les Malais venant de l'Indonésie au IV^{ème} siècle (CIRAD, 2002).

Trois sous-espèces d'*Oryza sativa* sont connues (MEMENTO DE L'AGRONOME, 2002) :

- *indica*, des régions de basse altitude aquatique, sous climat équatorial et tropical. Elle est caractérisée par un tallage fort, des feuilles étroites, des racines fines avec des grains longs et d'épillet très long ;
- *japonica*, originaire du nord de la Chine. Elle pousse aussi dans les régions tropicales et tempérées de la Corée et du Japon. Elle est de tallage moyen avec des feuilles étroites, des racines fines et des grains ronds et courts ;
- *javanica*, des variétés pluviales des régions tropicales.

2. POSITION SYSTEMATIQUE DU RIZ.

Le riz appartient au (TATEOKA, 1963) :

Règne : VEGETAL
Embranchement : ANGIOSPERMES
Classe : COMMELINIDEE
Ordres : POALES
Famille : POACEE

Genre : *Oryza*
 Espèce : *sativa*
 Sous-espèce : *indica / japonica / javanica*
 Nom vernaculaire malagasy: Vary
 Nom vernaculaire comorien : Ntsohole/Mayele
 Nom vernaculaire français : Riz

3. DESCRIPTION BOTANIQUE.

Morphologie du riz.

- **Les racines** : lors de la germination, le plant émet des racines primaires qui disparaissent rapidement et remplacées par les racines secondaires, fasciculées, portant avec elles les poils absorbants.
- **La tige** : elle est cylindrique avec des nœuds qui séparent les entre-nœuds. Sur les nœuds, des bourgeons poussent et se développent en tiges secondaires puis tertiaire pour former la talle.
- **Les feuilles** : elles prennent naissance aux nœuds. Les feuilles du riz sont sessiles et alternes.
- **L'inflorescence** : un groupe d'épillets constituant la panicule compose l'inflorescence de la plante. La fleur est monoïque et porte 6 étamines et un pistil formé par l'ovaire, le style et le stigmate.
- **Le grain** : le grain appelé paddy ou grain de paddy est le fruit de la fécondation de l'ovaire. Il s'agit d'un caryopse enveloppé de deux glumelles adhérentes (LACHARME, 2001).

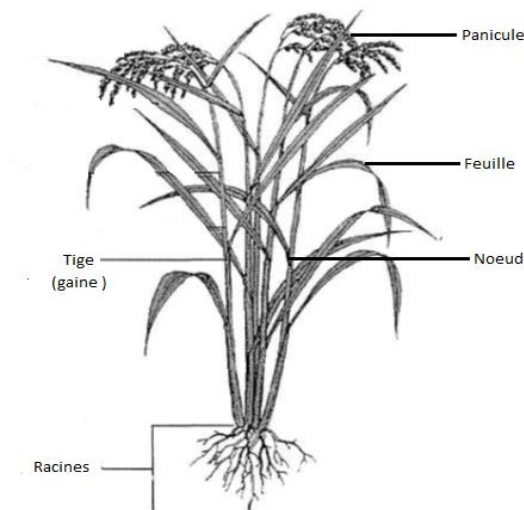


Figure 1 : Morphologie d'un plant de riz (LACHARME, 2001).

4. CYCLE VEGETATIF DU RIZ.

Le riz possède trois phases de croissance distinctes :

- la phase végétative : allant du semis jusqu'à l'initiation paniculaire ;
- la phase reproductive qui commence de l'initiation paniculaire à l'épiaison ;
- la phase de remplissage du grain et maturation, qui démarre environ trois jours après la fécondation. Elle dure de l'épiaison à la maturité du grain (prêt à la récolte) (MEERTENS & MICHIEL, 2014).

5. ECOLOGIE DU RIZ.

Le riz possède de multiples écotypes lui conférant une très grande adaptation dans les conditions écologiques variées (RANDRIANARISON, 2011) :

- *La température* : les exigences sont variables selon le stade de développement de la plante : tel que le montre le tableau 1.

- *La lumière* : la lumière est la principale source des plantes vertes pour s'en fabriquer de la matière nutritive (par la photosynthèse). Pour le riz, le photopériodisme influe considérablement sur la durée du cycle (MAYER & BONNEFOND, 1973).

- *La pluie et les besoins en eau* : l'eau est source de vie pour tout être vivant. Les besoins en eau du riz s'étalent de 1.000 à 1.800 mm pour une culture sèche et de 12.000 à 20.000 m³/ha pour la culture irriguée (RANDRIAMANANTENA, 2016).

- *Les sols* : la riziculture nécessite un sol léger ayant une très bonne capacité de rétention de l'eau avec une composition mixte d'argile, limon et de sable, avec un pH entre 4,5 et 8,7.

Tableau 1 : Température de l'air nécessaire à la culture du riz.

Stade de développement	Température de l'air (°C)		
	Minimum	Optimum	Maximum
Germination	14-16	30-35	42
Tallage	16-18	28-30	40

Source : MEMENTO DE L'AGRONOME, 2002.

6. CULTURE DU RIZ.

A Madagascar, la partie du Moyen-Ouest, les régions d'Alaotra Mangoro et du Menabe sont les principales productrices de riz. (RANDRIAMANANTENA, 2016).

Trois types de culture rizicoles sont pratiqués à Madagascar (RAKOTOARISOA, 2004). La riziculture aquatique est la plus pratiquée devant la culture pluviale et celle de

« Tavy ». Ces deux dernières se distinguent par le fait que, la riziculture de « Tavy » est adoptée dans un sol défriché par brûlis de la végétation préexistante. Un système de culture maraichère est applicable avec ces types de culture ainsi qu'une mono ou double culture annuelle.

La riziculture pluviale est pratiquée dans un champ souvent ameubli en semis sur couverture végétale (SCV) et non dans une rizière aménagée (HARI & PANDE, 1997)

7. LE SYSTEME SCV OU SEMIS SUR COUVERTURE VEGETALE.

Il sert à produire une biomasse dans le sol avant et/ou après chaque culture. Il permet de remplacer le travail mécanique du sol avec un moindre coût.

Trois (3) systèmes sont utilisés en culture pluviale (AUBERT *et al.*, 2003) :

- le système itinérant (la culture dure 2 à 3 ans après défriche) ;
- le système pionnier (l'amélioration du sol est assurée par le riz après défriche) ;
- le système fixe qui est le plus amélioré qui nécessite un bon aménagement du sol par un dispositif antiérosif, fertilisation et une lutte contre l'enherbement.

8. LE GRAIN DE RIZ.

Après récolte, le grain de riz (paddy) est obtenu par un battage qui sépare le grain de la paille.

8.1 Structure d'un grain de riz.

Le grain de riz est formé de plusieurs structures complexes dont la balle, le caryopse ou fruit composé lui-même par l'albumen et l'embryon. L'albumen porte la partie interne amyliacée du grain et la couche subaleurone. Entre la balle et le caryopse se trouve le son composé de péricarpe, tégument et nucelle.

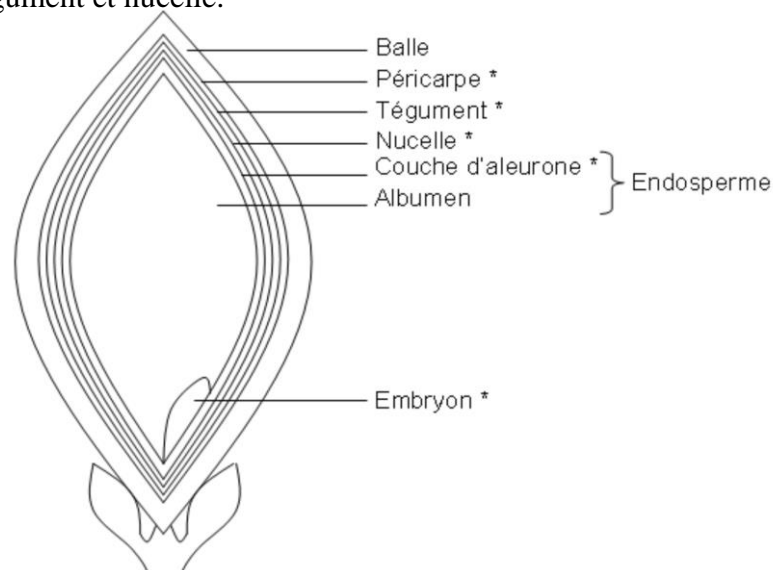


Figure 2 : Structure d'un grain de riz ou paddy (KENT, 1975).

8.2 Transformation du riz.

Après sa récolte, le riz passe par plusieurs étapes de transformations, schématisées sur la figure 3, pour être consommable.

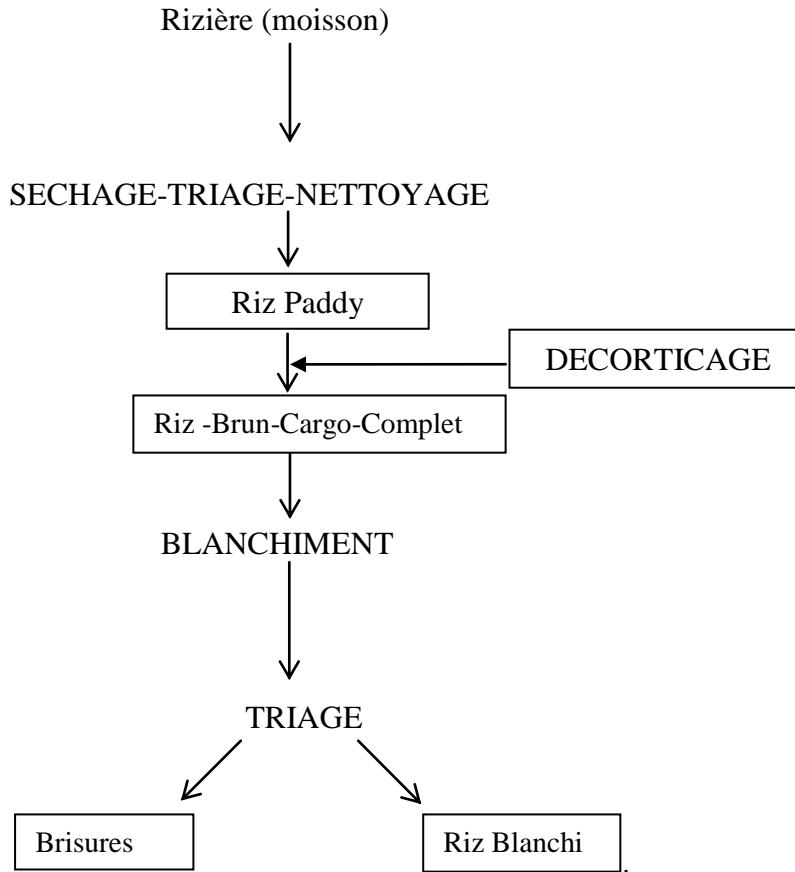


Figure 3 : Processus de transformation du riz (RAHANITRARIVONY, 2013).

9. CONSOMMATION DU RIZ.

Dans le monde entier, la première utilisation du riz est l'alimentation humaine. Il compense près de 20% des besoins énergétiques dans l'alimentation mondiale (FAO, 2004). A Madagascar, la consommation moyenne est évaluée à plus de 138 kg/habitant/an en milieu rural et 118 kg/habitant/an en milieu urbain (<http://www.ricehub.org>). Le riz demeure la céréale la plus consommée dans la grande île jusqu'à 84% devant le maïs (10%) et les autres céréales (6%) (FRANÇOIS, 1962). Il est impliqué dans les trois repas journaliers du malagasy, avec ses trois modes de cuisson : le riz sec (*vary maina*), riz mouillé (*vary sosoa*) et riz mouillé avec brèdes (*vary amin'ny anana*) (RAHANITRARIVONY, 2013). La sauce d'accompagnement (*laoka*) est généralement à base de feuilles comportant parfois de la viande de poulet, de porc ou de zébu (*romazava*) ou ragoût de viande de zébu.

Le riz consommé est essentiellement local, et dans une moindre mesure du riz importé. Le régime est pauvre en matière grasse. La principale source de matière grasse est l'huile de soja importée qui est assez coûteuse (RALISON *et al.*, 2005).

II. QUALITE ALIMENTAIRE DU RIZ.

Selon la norme 8402 de *International Organization for Standardisation* (ISO), la qualité alimentaire est l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit lui procurant l'aptitude à satisfaire les besoins du consommateur (ISO, 1995 ; IBRAHIM, 2014). Elle comporte quatre composantes :

- la qualité nutritionnelle, pour compenser les besoins énergétiques et nutritionnels du consommateur aussi bien sur la qualité que sur la quantité ;
- la qualité organoleptique, ou sensorielle, pour la perception du plaisir qu'exprime le consommateur sur le produit ;
- la qualité hygiénique, pour préserver la santé du consommateur. Des normes sont homologuées pour le riz destiné à la consommation humaine (Cf, ONSSA/NM 08.1.236/2008) ou Normes du Codex pour le riz (CODEX ALIMENTARIUS, 2007) ;
- la qualité marchande qui s'appuie sur le rapport qualité-prix de l'aliment.

1. COMPOSITION NUTRITIONNELLE DU RIZ.

1.1 Glucides.

Les glucides du riz sont constitués de :

- l'amidon, principal sucre du riz usiné. Du point de vue biochimique, c'est un homopolymère du D-glucose à liaison $\alpha(1-4)$ et il se compose habituellement d'une fraction essentiellement linéaire, l'amylose, et d'une fraction ramifiée, l'amylopectine ;
- sucres simples comprenant le raffinose, le glucose, le fructose et l'inositol ;
- sucres complexes : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (RASOANAIVO, 2015).

Les teneurs en glucides digestibles du riz sont consignées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Taux de glucides digestibles pour 100 g de matière sèche.

Etat du riz	Riz paddy	Riz cargo	Riz blanchi
%glucides digestibles	64-73	73-87	77-89

Source : JULIANO, 1994.

1.2 Protéines.

Selon la variété, la teneur en protéines du riz peut varier jusqu'à plus de 10% de la matière sèche. Les études de RAHANITRARIVONY (2013) révèlent des teneurs allant de 7,53% pour la variété *Rojomena* jusqu'à 10,56% pour la variété *Fa 154*.

1.3 Lipides.

Soixante pour cent (60%) des lipides du riz sont localisés dans les parties externes. La teneur en lipides de l'embryon est faible (environ 1/3 de la teneur totale) (RALAMBOFETRA, 1983). Cette teneur varie selon le mode d'usinage de 0,6 à 4% pour le riz cargo alors que pour le riz blanchi elle varie entre 0,2 et 2,7%. Le riz pilonné posséderait une teneur en lipides élevée par rapport au riz usiné (RAHANITRARIVONY, 2013). Le tableau 3 mentionne la teneur en quelques acides gras indispensables par rapport à la teneur en lipides totaux.

Tableau 3 : Pourcentage de la teneur en quelques acides gras essentiels

Acide gras	Acide palmitique	Acide linoléique	Acide linoléique
Riz pluviale	20	36	37
Riz irriguée	24	33	34

Source : RALAMBOFETRA, 1983.

La variété et les conditions culturales sont les principaux facteurs qui déterminent la variation de la teneur en acides gras essentiels du riz (RASOANAIVO, 2015).

1.4 Valeur énergétique.

Le mode de transformation influence considérablement la valeur calorique du riz. Le tableau 4 résume la valeur énergétique globale du riz selon différents états.

Tableau 4 : Valeur énergétique de grains de riz (kcal).

Etat du riz	Paddy	Cargo	Blanchi
Valeur énergétique	378*	363-385*	402-414**

Sources : JULIANO, 1985* ; RASOANAIVO, 2015**.

1.5 Fibres alimentaires et éléments minéraux.

Les fibres représentent la partie des plantes que le système digestif humain ne peut pas digérer complètement. Il existe deux types de fibres alimentaires : les fibres insolubles et les fibres solubles (RAMAROJAONA, 2014). Le riz contient des quantités importantes de fibres alimentaires et d'éléments minéraux dont une majeure partie se localise dans le son. Le tableau 5 montre la teneur en fibres et quelques éléments minéraux du riz.

Tableau 5 : Teneurs en fibres et en quelques éléments minéraux du riz nature.

Nutriments	Fibres	Vitamine C	Vitamine A	Calcium	Sodium	Fer
100g de riz	8,1 g	0,05 g	5.10^{-6} g	0,14 g	0,03 g	0,3 g

Source : <http://www.fao.org>.

III. LE SON DE RIZ.

1. DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DU SON DE RIZ.

Pendant l'usinage du riz, le son constitue un sous-produit très précieux de la denrée. Il constitue l'enveloppe du grain de riz après décorticage. Composé de péricarpe, tégument, nucelle et de la couche aleuronique, le son de riz pur est obtenu pendant le polissage (<http://www.biolineaires.com>).

La forte teneur en matières grasses du son lui confère une courte durée de conservation. En effet, les enzymes telles que la lipase et la triacylglycéról hydrolase contenues dans le son réagissent avec l'huile du son affectant sa qualité organoleptique ainsi que sa qualité nutritionnelle (<http://www.zurvita-nutrition.com/report.php>). Pour empêcher le rancissement du produit et allonger sa durée de conservation, il est nécessaire de stabiliser les composantes enzymatiques par un bref traitement thermique à 60°. Ce procédé permet également de préserver l'ensemble des valeurs nutritionnelles de cette partie (<http://www.biolineaires.com>). L'extraction de l'huile du son est efficace lorsqu'il est réalisé le jour même de la production du son de riz. La figure 4 (p11) résume le processus d'extraction du son.

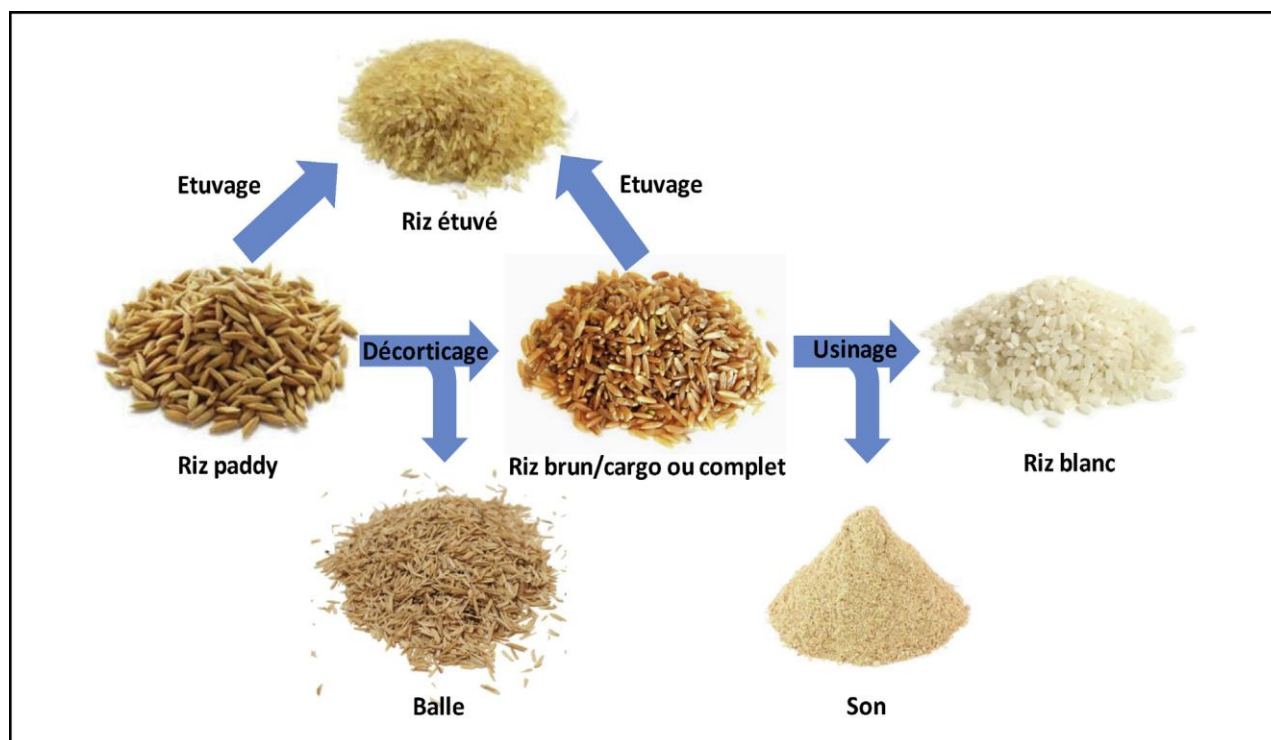


Figure 4 : Transformation du riz et extraction du son (GOYONS & MESTRES, 2017).

2. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES DU SON DE RIZ.

Le son de riz est la plus importante fraction d'usinage du riz en matière de composition nutritionnelle. Il accapare environ 60% des éléments nutritifs de la denrée (<http://www.biolineaires.com>). Les tableaux 6 et 7 montrent la composition en quelques nutriments du son de riz.

Tableau 6 : Composition nutritionnelle pour 100 g de son.

Fraction d'usinage	Son de riz
Protéines totales (g)	11,3-14,9
Lipides totaux (g)	15-19,7
Glucides digestibles (g)	34-62
Fibres totaux (g)	7-11,4
Valeur énergétique (Kcal)	399-476

Source : FOFIFA, 1998.

Tableau 7 : Teneur en vitamines et en minéraux dans 100 g de son de riz.

Fraction d'usinage	Balle de riz	Son de riz
Vitamine E (mg)*		2-13
Thiamine (mg)	0,09-0,21	1,20-2,40
Calcium (mg)	60-130	30-120
Fer (mg)	3,9-9,5	8,6-43

Sources : FOFIFA, 1998 ;

*<http://www.biolineaires.com>.

3. UTILISATION DU SON DE RIZ.

Dans plusieurs pays du monde, le son de riz a connu une utilité très remarquable. L'huile de son de riz principalement produite en Inde, au Japon et en Chine est utilisée pour sa potentialité à réduire le taux de cholestérol dans le sang et pour la cuisson de haute qualité. Le son de riz contient toutes les vitamines de groupe B. Son utilisation permet de bien métaboliser les glucides et joue un rôle important sur les problèmes d'ordre émotionnels (<http://www.biolineaires.com>).

A Madagascar, le son de riz de qualité non alimentaire est utilisé pour sa richesse en éléments nutritifs en complément pour alimenter les ruminants consommant de la paille. Il contribue considérablement dans l'engraissement des porcs, l'élevage des poulets et des poissons (<http://www.biolineaires.com>).

MATERIELS ET METHODES

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

MATERIELS ET METHODES.

I. MATERIELS D'ETUDE.

Le matériel d'étude est constitué d'une variété de riz, appelé « FOFIFA MADIKATRA ». Il s'agit d'une nouvelle variété irriguée, considérée comme à haut rendement et s'adaptant aux aléas climatiques difficiles, cultivée dans la région Alaotra Mangoro à Ambatondrazaka, dans le Nord-Est de Madagascar. L'échantillon pour l'étude, 5kg de paddy bien emballés dans un sachet plastique, a été fourni gracieusement par la Société SILAC : Dès son arrivée au laboratoire, l'échantillon est stocké dans un endroit sec.

1. CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES.

Nom : FOFIFA MADIKATRA

Numéro de collection : 4145

Code (synonyme) : X1648

Couleur du paddy : jaune pale

Cycle de développement : 128 jours

Tolérance à la pyriculariose : bonne

Rendement moyenne : 4,709 t/ha

2. TRANSFORMATION DE L'ECHANTILLON.

Pour séparer la partie comestible des parties non comestibles, les grains de paddy sont décortiqués manuellement dans un mortier en bois avec pilon. Le produit du pilonnage est vanné dans un ustensile métallique légèrement concave (*sahafa*) et trois sous-produits sont obtenus : le grain, le son et la balle de riz. Les étapes du décortiquage sont résumées dans la figure 5.

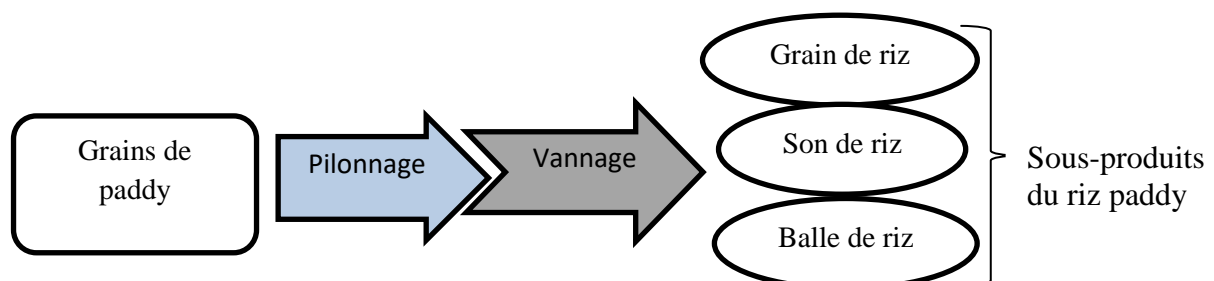


Figure 5 : Décortiquage et séparation des différentes parties du riz.

3. RENDEMENT EN SOUS-PRODUITS DU RIZ.

Le rendement en sous-produits de grains de paddy est le pourcentage en masse de sous-produits obtenus par rapport à la masse de paddy décortiqué. Il est calculé par la relation suivante :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{masse de sous - produit}}{\text{masse de paddy transformé}} \times 100$$

NB : les sous-produits retenus pour les différentes analyses sont le riz blanchi et le son de riz.

II. CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE ET NUTRITIONNELLE DES ECHANTILLONS.

1. ETUDE DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU RIZ.

Les caractéristiques morphologiques du grain de riz font partie des facteurs de qualité du riz. Elles sont prédictives de certaines propriétés du riz, tel que le comportement à la cuisson.

1.1 Détermination des dimensions du grain de riz.

Les grains de riz cargo sont éparpillés dans un plateau en métal. Les grains entiers sont triés manuellement pour la mesure des dimensions. Cette dernière est réalisée à l'aide d'un pied à coulisse électronique. Les dimensions longueurs (L), largeur (l) et épaisseur (Ep) sont mesurées sur un échantillon de soixante (60) grains entiers.

1.2 Détermination du poids de mille grains.

Mille (1000) grains entiers sont comptés manuellement puis pesés à l'aide d'une balance de précision. Le processus est répété trois fois et la moyenne est calculée.

1.3 Détermination du taux de grains entiers.

Le taux de grains entiers exprime la quantité de grains de riz non brisés lors du processus de décortilage.

Un échantillon de 100 g de riz décortiqué pris au hasard est pesé puis étalé dans un plateau en métal. Par un tri manuel, les grains entiers sont séparés des grains brisés. Le taux de grains entiers (en pourcentage) est obtenu à partir de l'équation suivante :

$$\text{taux de grains entiers (\%)} = \frac{\text{masse de grains entiers}}{\text{masse de l'échantillon}} \times 100$$

2. CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES ECHANTILLONS.

Il s'agit de caractériser biochimiquement les sous-produits, grains de riz décortiqués et son de riz obtenus après décorticage des grains de paddy. Les échantillons sont réduits en farine tamisée pour les différentes analyses nutritionnelles (Cf fig 6)



Figure 6 : Transformation des échantillons en farine.

La farine ainsi obtenue est conservée dans des bocaux en verre préalablement lavés et bien séchés. Les bocaux sont hermétiquement fermés et stockés dans un endroit sec à température ambiante, épargnant les échantillons de toute contamination susceptible de modifier leur qualité alimentaire.

2.1 Etude de la composition nutritionnelle.

2.1.1 Détermination de la teneur en eau (H%) et en matière sèche (MS%).

Par définition, la teneur en humidité est la quantité d'eau perdue par l'échantillon lorsqu'il est soumis à un équilibre vrai avec une pression de vapeur nulle, dans des conditions telles que des réactions perturbatrices éventuelles sont évitées (AFNOR, 1993)

Principe

L'échantillon est desséché à l'étuve sous une température de 103°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La perte de masse est calculée puis évaluée en pourcentage.

Mode opératoire

Une prise d'essai de 5 g de poudres fraîche est mise dans une capsule en aluminium préalablement pesée et tarée. L'ensemble est introduit dans l'étuve à 103°C pendant 24 h environ. Après retrait de l'étuve les échantillons sont ensuite refroidis dans un dessiccateur pendant 24 h puis pesés à l'aide d'une balance de précision.

La teneur en humidité est donnée par la relation suivante :

$$H\% = \frac{m1 - m2}{m1 - m0} \times 100$$

Où :

H% : taux d'humidité pour 100 g d'échantillon

m0 : masse en gramme de la capsule vide

m1 : masse de la capsule contenant l'échantillon avant l'étuvage

m2 : masse de la capsule munie de l'échantillon après étuvage.

Par conséquent, le pourcentage de la teneur en matière sèche (MS%) est obtenue par la relation :

$$MS\% = 100 - H\%$$

2.1.2 Détermination de la teneur en cendres brutes.

Les cendres brutes sont les résidus obtenus après incinération complète de la matière organique d'un produit.

Les résidus constituant les cendres brutes sont obtenus après calcination complète des particules charbonneuses de la prise d'essai à 550°C dans le four à moufle pendant 3 h de temps au moins (DUPIN, 1992 ; AUDIGIE & ZONZAIN, 1996). La température est augmentée progressivement.

Dans une capsule en verre préalablement pesée et tarée, 5g d'échantillon sont introduits et portés au four à moufle à 550°C pendant 5h de temps. Les échantillons incinérés sont sortis du four et laissés se refroidir dans le dessiccateur. Les capsules sont ensuite pesées. La teneur en cendres brutes par rapport à la matière sèche est calculée par la formule :

$$CB = \frac{p2 - p0}{p1 - p0} \times 100$$

Où :

CB% : teneur en cendres brutes pour 100 g de matière sèche

p0 : poids de la capsule vide

p1 : poids de la capsule contenant l'échantillon avant incinération

p2 : poids de la capsule contenant l'échantillon après incinération

2.1.3 Détermination de la teneur en lipides.

La méthode consiste à extraire dans un appareil Soxhlet la totalité des matières grasses contenues dans l'échantillon à l'aide d'un solvant d'extraction, l'hexane (CHEFTEL, 1990).

Dix (10) g d'échantillon sont emballés dans une cartouche en papier-filtre, pénétrable par le solvant d'extraction. La cartouche est ensuite introduite dans l'ampoule Soxhlet communiquée à un ballon à fond rond, contenant des billes de verre homogénéisatrices préalablement pesés. L'hexane est versé dans le ballon, rempli jusqu'au 2/3. L'extraction se fait par chauffage du ballon à l'aide d'une plaque à 45°C. Le solvant se condense dans l'ampoule et macère l'échantillon puis siphonne dans le ballon en apportant avec lui les matières grasses. Le processus se reproduit en plusieurs cycles pendant 12 h de temps afin d'épuiser le soluté (lipides) dans la matière première. Après extraction, le solvant est éliminé par évaporation au rotavapor à 45°C puis le ballon est à nouveau pesé.

La teneur en lipides en pourcentage de matière sèche est obtenue par la relation :

$$L\% = \frac{p2 - p1}{p0} \times 100$$

Où

L% : teneur en lipides totaux pour 100 g de matière sèche

p0 : masse en gramme de la prise d'essai

p1 : masse en gramme du ballon

p2 : masse en gramme du ballon après évaporation du solvant

2.1.4 Détermination de la teneur en protéines.

2.1.4.1 Détermination de la teneur en protéines totales.

La méthode kjeldahl est utilisée pour la détermination de la teneur en protéines totales.

L'azote organique est minéralisé en présence de l'acide sulfurique. La teneur en protéines totales est obtenue en multipliant la teneur en azote total par 5,95, facteur de conversion conventionnel du riz (AFNOR, 2002).

L'opération comporte 3 étapes :

Minéralisation

Il s'agit de transformer l'azote organique contenu dans la matière première en azote minéral. Dans un matras de minéralisation, 0,5 g d'échantillon est mélangé avec 10 ml d'acide sulfurique concentré et 0,7 g de catalyseur Kjeldahl. L'ensemble est chauffé pendant au moins 3 h, temps nécessaire pour obtenir une solution limpide, le minéralisât. En parallèle une deuxième solution sans échantillon est préparée pour servir de témoin.

Distillation

Après refroidissement, le minéralisât est transvasé dans un matras de distillation avec l'eau de rinçage. Dans l'appareil distillateur, le matras est communiqué à l'erenmeyer, contenant une solution piège composée de 25ml d'acide borique 4% et quelques gouttes de réactif de TASHIRO où le distillat est recueilli. Après distillation, la solution vire au vert.

Titrage

Le distillat piégé dans l'erenmeyer est traité avec de l'acide sulfurique 0,1 N jusqu'au virage, coloration en rose de la solution.

La teneur en azote total est obtenue par la relation

$$N\% = \frac{(V - V_0) \times N \times 0,014}{m} \times 100$$

Où :

N% : teneur en azote total pour 100 g de matière sèche

V : volume en ml de H_2SO_4 (0,1 N) utilisé

V₀ : volume de H_2SO_4 utilisé pour le témoin

N : normalité de la solution de H_2SO_4 utilisé

m : masse en gramme de la prise d'essai

La teneur en protéines totales pour 100g d'échantillon est obtenue en multipliant la teneur en azote total par le facteur de conversion conventionnel du riz (5,95).

D'où

$$P\% = N\% \times 5,95$$

Avec : *P%* : la teneur en protéines totales pour 100 g de matière sèche

2.1.4.2 Etude quantitative de la composition en acides aminés.

Selon MOSSE (1990), il existe une corrélation entre la composition en acides aminés et le taux en azote des grains des légumineuses et/ou des céréales. Elle obéit à un type de relation linéaire défini par trois coefficients à déterminer expérimentalement (a : pente, b :

ordonné à l'origine et r : coefficient de corrélation. N : étant le taux d'azote). Connaissant ces coefficients, la composition précise en acides aminés peut être calculée à partir du taux d'azote.

La teneur en acides aminés (A_i) pour 100 g de matière sèche est donné par :

$$A_i = \frac{(a_i \times N\% + b_i)}{1000}$$

a_i : pente de la droite de régression

b_i : ordonnée à l'origine

$N\%$: taux d'azote pour 100 g de matière sèche

La concentration (C_i) en acides aminés pour 100g de protéines brutes est :

$$C_i = \left[\frac{(a_i + b_i)}{N\%} \right] \times 0,016$$

2.1.4.3 Détermination de l'indice chimique et acide aminé facteur limitant des protéines.

L'indice chimique est le rapport entre la quantité de chaque acide aminé essentiel contenu dans la protéine considérée et la quantité de chaque acide aminé correspondant de la protéine de référence. Sa détermination est nécessaire pour évaluer la qualité nutritionnelle d'une protéine d'un aliment.

L'acide aminé présentant l'indice chimique le plus faible constitue « le facteur limitant » de la protéine. L'indice chimique est calculé par la formule suivante :

$$\text{Indice chimique} = \frac{\text{taux d'acide aminé dans la protéine étudiée}}{\text{taux du même acide aminé dans la protéine de référence}} \times 100$$

Selon FAO/OMS/ONU (1986), il y a deux profils de références en acides aminés essentiels qui ont été utilisés pour voir la performance des protéines de graines de riz :

- pour les jeunes enfants de moins de deux ans ;
- pour les enfants de plus de deux ans et les adultes.

2.1.5 Détermination de la teneur en glucides totaux.

Lorsque les teneurs en lipides totaux, protéines totales et cendres brutes sont connues, alors, celle des glucides totaux peut être déduite (ADRIAN *et al.*, 1995).

Pour 100g de matière sèche, la teneur en glucides totaux (G) est donnée par la relation :

$$G\% = 100 - (P\% + L\% + CB\%)$$

Où :

G% : teneur en glucides totaux pour 100 g de matière sèche

P% : teneur en protéines totales pour 100 g de matière sèche

L% : teneur en lipides totaux pour 100 g de matière sèche

CB% : teneur en cendre brute pour 100 g de matière sèche

2.1.6 Détermination de la teneur en amidon du riz (GODON, 1994).

La technique utilisée est la méthode polarimétrique d'Ewers.

Les grains d'amidon sont dispersés par un traitement à chaud avec de l'acide chlorhydrique dilué. La suspension est déféquée et filtrée et le pouvoir rotatoire de la solution est mesuré par polarimétrie. Le même traitement est effectué sur l'extrait éthanolique à 40% de la farine. Cette extraction a pour but d'éliminer les glucides solubles susceptibles d'interférer en polarimétrie.

La teneur en amidon de l'échantillon est obtenue par la différence entre deux mesures polarimétriques multipliée par un facteur spécifique de l'origine botanique de l'amidon.

2.1.6.1 Détermination du pouvoir rotatoire total P.

Une prise d'essai de 0,5g est mélangée, dans une fiole jaugée de 50 ml avec 10 ml d'acide chlorhydrique à 1,128%. La fiole est plongée dans un bain-marie pendant 15 min tout en agitant le mélange pour éviter la formation d'agglomérats. Après les 15 min, la fiole est retirée du bain-marie et 30 ml d'eau distillée y sont ajoutés. Les protéines de l'échantillon sont déféquées en y ajoutant 2,5 ml de solution de Carez I et 2,5 ml de solution de Carez II. A chaque ajout de la solution de Carez, le mélange est agité 1 min. Le volume est ramené au trait de jauge (50 ml) avec de l'eau distillée. La solution est enfin bien homogénéisée et filtrée puis le pouvoir rotatoire P est lu au polarimètre.

2.1.6.2 Détermination du pouvoir rotatoire P'.

Il s'agit de déterminer le pouvoir rotatoire des composés de l'échantillon soluble dans l'éthanol 40%.

Dans une fiole jaugée de 50 ml, une prise d'essai de 1 g d'échantillon est mélangée avec 40 ml d'éthanol 40%. A la température ambiante, le mélange est homogénéisé par des agitations successives jusqu'à 1 h de temps afin d'obtenir une suspension. Le volume est ajusté à 50 ml avec de l'éthanol 40% puis agité et filtré. Le filtrat est traité avec 2,1 ml d'acide

chlorhydrique 25% puis agité énergiquement dans un bain chaud à reflux. Après 15 min, la fiole est retirée du bain et refroidie dans un courant d'eau froide jusqu'à 20°C. Les protéines de l'échantillon sont déféquées en ajoutant 2,5 ml de solution de Carez I et 2 ml de Carez II. Le volume est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée. Après homogénéisation et filtration du mélange, son pouvoir rotatoire P' est lu au polarimètre.

La teneur en amidon (A) pour 100 g de matière sèche est obtenue par la formule :

$$A = \frac{(P - P') \times 100 \times 100}{[\alpha]_D^{20^\circ}}$$

Où :

A% : est la teneur en amidon total pour 100 g de matière sèche

P : pouvoir rotatoire total en degré d'arc

P' : pouvoir rotatoire en degré d'arc donné par les substances solubles dans l'éthanol 40%

m : masse de la prise d'essai en g de matière sèche

l : longueur du tube polarimétrique en dm

$[\alpha]_D^{20^\circ}$: pouvoir rotatoire spécifique de l'amidon pur à 20°C (pour $[\alpha] = 184^\circ$)

2.1.7 Détermination de la valeur énergétique totale.

La valeur énergétique totale correspond à la quantité d'énergie libérée par la combustion des macronutriments : protéines, glucides et lipides contenus dans l'échantillon. Les valeurs sont prises en tenant compte de la digestibilité de chacun des composants et de leurs indices d'ATWATER respectifs, 4 Kcal, 4 Kcal et 9 Kcal par gramme de protéine, glucide et lipide (AFNOR, 1989).

La valeur énergétique totale en Kcal pour 100 g de matières sèches est donnée par :

$$E(\text{Kcal}) = (4 \times P) + (4 \times G) + (9 \times L)$$

Où :

E : est la valeur énergétique totale pour 100 g d'échantillon

P : teneur en protéines totales de l'échantillon

G : teneur en glucides totaux

L : teneur en lipides totaux

2.2 Dosage des facteurs antinutritionnels : les phytates.

En milieu acide, le fer donne avec l'acide sulfosalicylique un complexe rose qui se décolore en présence d'acide phytique. Ce dernier, par son pouvoir chélateur élevé par rapport à celui de l'acide sulfosalicylique capte le fer (LATTA & ESKIN, 1980 ; VAINTRAUB & LAPTEVA, 1988).

Dans un tube à essai de 10 ml, 150 mg d'échantillon sont introduits avec 5 ml d'HCl. L'ensemble est agité au vortex 15 s toutes les 10 min, jusqu'à 2 h de temps. Le mélange est ensuite centrifugé à 6 000 rotations par minute (rpm) pendant 30 min à 20°C. Le surnageant est récupéré puis reparti en deux : une partie est conservée au réfrigérateur et l'autre partie (200 µl) est diluée 25 fois avec 4,8 ml d'eau distillée (ED) puis agitée au vortex pendant 5 secondes.

Dosage des phytates.

Un prélèvement de 750 µl de la solution diluée est mélangé avec 250 µl de solution de Rose de Wade. Le mélange est vortexé 5 s, centrifugé pendant 10 min à 10 000 rpm puis transvasé dans une cuve de 1,5 ml. L'absorbance est lue à 500 nm dans le spectrophotomètre contre un blanc d'ED. Cette même opération est réalisée avec 300 mg de farine de sarazin, échantillon de référence.

2.3 Détermination de la capacité antioxydante.

La méthode directe décrite par SERPEN et ses collaborateurs (2007) a été adoptée pour la détermination de la capacité antioxydante. Quelques modifications d'adaptation sont apportées à cette méthode par RANOVONA (2012).

2.3.1 Mesure de la capacité antioxydante par le radical DPPH.

Le composé DPPH est parmi les principaux radicaux libres utilisés pour étudier l'activité antioxydante des composés. Il possède un électron libre qui, lorsqu'il s'apparie, le composé change de couleur allant du rose foncé au jaune pâle selon sa teneur en antioxydant. Cette réduction du DPPH par un antioxydant est déterminée par spectrophotométrie à 517 nm, en quantifiant la diminution de l'absorbance.

2.3.2 Préparation de la solution de DPPH.

Dix (10) mg de DPPH sont dissous dans 250 ml de méthanol tout en protégeant le mélange de la lumière. Il faut noter que cette solution se prépare à l'avance pour éviter les difficultés de la solubilisation.

La stabilité et l'intervalle de linéarité de la solution mère sont contrôlés avant les autres étapes. Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus pour le Trolox (antioxydant de synthèse, analogue structural de la vitamine E), antioxydant de référence.

2.3.3 Préparation de la solution de Trolox.

Une prise de 32,5 mg de Trolox est mélangée avec 25 ml de méthanol pour la préparation de la solution mère de Trolox à 5,19 mM. Des séries de dilutions sont effectuées au 1/2, 1/4, 1/10, 1/20 à partir de cette solution mère pour élaborer les solutions filles. 20 µl de chaque solution fille sont mélangés avec 1,7 ml de DPPH dans un tube Eppendorf et agité rapidement au vortex. La densité optique de chaque mélange est lue au spectrophotomètre à 517 nm contre un blanc (le méthanol). Pour vérifier la stabilité des solutions, les densités optiques sont lues toutes les 2 min jusqu'à l'obtention d'un plateau.

2.3.4 Mesure de la capacité antioxydante du son de riz.

Dans un tube à essai de 10 ml protégé de la lumière, 15 mg d'huile de son sont mélangés avec 1,7 ml de DPPH. Le mélange est homogénéisé au vortex pendant 30 s à temps $t = 1$ min, à $t = 8$ min et à $t = 30$ min. Il est ensuite centrifugé à 6 000 rpm pendant 2 min et le surnageant est transvasé dans un autre tube à essai, aussi protégé de la lumière. 30 min après l'ajout du DPPH, la densité optique (D.O) est lue au spectrophotomètre à 517 nm. Il faut noter que le renouvellement des cuvettes toutes les 5 min avec le surnageant est important car, le méthanol peut facilement réagir avec le plastique des cuvettes.

Les résultats des calculs de la capacité antioxydante sont exprimés en Trolox Equivalent (TE) par mg de MS (TE/mg MS). La droite de régression linéaire peut être tracée, en reportant les points de la gamme étalon sur un graphique avec en abscisse, la concentration en Trolox en µM et en ordonnée, la densité optique à 517 nm.

La droite de régression linéaire est obtenue à partir de l'équation :

$$D.O_{517nm} = a \times [\text{Trolox}] + b$$

Avec :

$D.O_{517nm}$: densité optique de l'échantillon à 517 nm

a : pente de la droite de régression et

b : ordonnée à l'origine

Lorsque a et b sont déterminés, la concentration en Trolox peut être déduite par :

$$[\text{Trolox}] = \frac{D.O_{517nm} - b}{a}$$

Des séries de conversions sont nécessaires pour exprimer la capacité antioxydante (CAO) de l'échantillon en µmol de T.E/g de MS. D'où la formule :

$$\text{CAO } (\mu\text{mol T. E./g MS}) = \frac{[\text{Trolox}] \times V}{m}$$

CAO : capacité antioxydante de l'échantillon exprimée en $\mu\text{mol de T.E/gMS}$

[Trolox] : concentration en Trolox en μM

V : volume de DPPH ajouté à l'échantillon en litre

m : masse de l'échantillon en g

RESULTATS ET DISCUSSION

I. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES.

1. RENDEMENT A L'USINAGE.

Après décorticage des échantillons, par pilonnage manuel les grains de riz, le son et la balle ont été séparés par vannage et les rendements obtenus (\pm écart type) sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Rendement à l'usinage en pourcentage de paddy.

Pour 100 kg de paddy	Grains de riz	Son	Balle
Rendement (%)	67,9 \pm 0,16	14,5 \pm 0,63	17,6 \pm 0,43

Le rendement en riz blanc est de 67,9%. Ce taux est comparable avec celui de la variété *Chhomrong Dhan* (67,33%) rapporté par RASOANAIVO en 2015, correspondant au rendement maximum obtenu au moyen d'une décortiqueuse. Le faible rendement en son (14,5%), s'explique par le fait que, le mode de décorticage utilisé n'est pas approprié pour débarrasser la totalité du son de la graine. En effet, il est connu que le décorticage par pilonnage manuel laisse une grande partie du son s'accoler au grain de riz.

2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAIN DE RIZ.

Les caractéristiques physiques sont les premiers facteurs d'appréciation du riz cru. Elles permettent de présager sur son comportement à la cuisson. Un riz à grains longs avec moins de brisures est très apprécié par les consommateurs.

Les caractéristiques physiques des grains ont été étudiées et les résultats sont résumés dans le tableau 9. Ces valeurs sont les moyennes obtenues dans un échantillon de 60 grains pour les dimensions et 3 essais pour le poids de mille grains et le taux de grains entiers.

Tableau 9 : Caractéristiques physiques des grains de riz.

Variabes	Epaisseur (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	L/l	PMG (g)	TGE (%)
Valeurs	1,6 \pm 0,06	6 \pm 0,17	2,1 \pm 0,08	1,6 \pm 0,11	16 \pm 0,10	22,6 \pm 1,93

PMG : poids de mille grains ; TGE : taux de grains entiers.

La longueur moyenne des grains est de 6 mm, avec un rapport longueur/largeur égal à 1,6 mm. Selon la commission européenne, la variété MADIKATRA est un riz à grains moyens ($5,2 < L \leq 6$ et $L/l < 3$) (http://www.exporthelp.europa.eu/thdapp/index_fr.html).

En ce qui concerne le taux de grains entiers, l'échantillon étudié a été fortement brisé (77,4% de brisures). Ce taux est très élevé par rapport à ceux obtenus dans les travaux antérieurs. Cette forte fragmentation des grains peut être liée : i) à la technique de décorticage adoptée, ii) aux techniques de séchage et de conservation et/ou iii) à la variété étudiée. Le décorticage par pilonnage manuel a une forte influence sur le clivage des grains par rapport au décorticage par une machine décortiqueuse. Les opérations post-récolte (séchage et conservation) du riz paddy contribuent considérablement à la résistance des grains. Plus les grains sont secs plus le taux de brisure augmente. Cependant, une teneur en humidité ne dépassant pas 13% est nécessaire pour permettre aux grains de ne pas se briser facilement lors de l'usinage (RASOANAIVO, 2015).

3. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES DU GRAIN ET DU SON DE RIZ.

3.1 Teneur en eau (H%) et matière sèche (MS%).

Les teneurs en eau et en matière sèche pour 100g d'échantillon sont résumées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Teneur en eau et en matière sèche.

Echantillon 100 g	Grains de riz	Son
H(%)	10,57±0,23	8,40±0,18
MS(%)	89,43±0,23	91,60±0,18

Les teneurs en eau de la variété étudiée sont respectivement 10,6% et 8,4% pour le riz et pour le son. Ceci correspond à une teneur en matière sèche égale à 89,4% pour le riz et 91,6% pour le son. Ces résultats sont similaires à ceux déjà trouvés par RAMAROJOANA (2014) avec les variétés : *Tsemaka*, *Dista* et *Telorirana* dont les teneurs en eau du son de riz sont respectivement de 8,5%, 8,45% et 8,38%. Ces teneurs répondent aux normes du CODEX ALIMENTARIUS qui fixent une teneur en eau ne dépassant pas 15% et qui recommande une teneur aussi basse en fonction des destinations de la denrée. Une faible teneur en eau serait

souhaitable pour une longue durée de conservation de la denrée ou pour la mettre à l’abri des réactions d’oxydation et des activités enzymatiques.

3.2 Teneur en cendres brutes (CB%).

Après incinération complète de la matière organique des échantillons dans le four à moufle, les teneurs en cendres brutes sont notés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Teneur en cendres brutes pour 100 g d’échantillon.

Echantillon	Grains de riz	Son
CB(%)	0,67 ±0,08	15,0±0,52

La teneur en cendres brutes par rapport à la matière sèche est faible dans le riz (0,62%) mais élevée dans le son (15,02%). Ceci correspond à une teneur en matière organique égale à 99,38% pour le riz et 84,98% pour le son. Ces résultats montrent aussi que la quasi-totalité du riz décortiqué est constituée par de la matière carbonée. Des résultats similaires sont déjà trouvés par des chercheurs en ce domaine avec d’autres variétés : RAHANITRARIVONY (2013) avec une teneur de 0,53% pour la variété *Tsipala tanety* et RASOANAIVO (2015) avec une teneur de 0,68% pour la variété *Fa172*. La teneur en cendres brutes du son est élevée par rapport à celles obtenues dans les travaux antérieurs. RAMAROJOANA (2014) a obtenu une valeur allant de 2,65% à 7,39% pour six variétés de riz étudiées. Ceci explique que la teneur en cendres varie en fonction de la variété. Mais pour tous les cas, le son détient la plus grande part des éléments nutritifs du riz. Les conditions culturales et le degré d’usinage sont aussi des facteurs qui influencent considérablement cette teneur.

3.3 Teneur en lipides totaux (L%).

Les matières grasses des échantillons ont été extraites à l’aide d’un solvant organique, le n-Hexane dans l’appareil Soxhlet. Les résultats des extractions sont consignés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Taux de lipides totaux pour 100 g de matière sèche.

Echantillon	Grains de riz	Son
L(%)	1,52 ±0,79	9,53 ±2,82

Le riz comme les autres céréales est un aliment pauvre en matière grasse (FAO, 2004). Les résultats du tableau 12 montrent une faible teneur en lipides dans le riz, soit 1,52% de la matière sèche. Cette valeur corrobore les résultats de la littérature : FAO (2004) avec une teneur variant au tour de 1% et RANDRIAMANANTENA (2016) avec une teneur allant de 1,2 à 2,86%. Le son, par contre constitue un très bon réservoir lipidique avec une teneur moyenne égale à 9.53%. Cette valeur est comparable aux résultats obtenus par d'autres auteurs avec d'autres variétés, notamment ceux obtenus par GAYDOU (1980) avec une teneur allant de 10 à 14,9% et par RAMAROJAONA (2014) avec une teneur moyenne de 9,38%.

La technique utilisée lors du décorticage (pilonnage manuel) semble affecter la teneur en matières grasses des échantillons. Le son laisserait une partie s'accoler aux grains décortiqués et serait aussi falsifié par la balle de riz lors du vannage. Les lipides du son de riz sont particulièrement reconnus par leur forte composition en gamma oryzanol (lipide utilisé pour réduire les troubles liés à la ménopause) et d'autres acides gras indispensables et sont exploités à des fins thérapeutiques.

3.4 Teneur en protéines totales (P%).

Les résultats des dosages des protéines totales par la méthode de kjeldahl sont résumés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Teneur en protéines totales pour 100 g de matière sèche.

Echantillon	Grains de riz	Son
P(%)	7,92 ±0,32	15,83 ±0,21

La teneur en protéines des échantillons analysés est de 7,92 % pour le riz et 15,83% pour le son. Cette teneur en protéines totales dans le riz est faible par rapport à celle obtenue par RALAMBOFETRA en 1983 (15,49% de MS) sur des variétés pluviales. Toutefois, elle est comparable aux résultats de JULIANO (1994) qui a trouvé une teneur en protéines allant de 7,1 à 8,3% et de RAHANITRARIVONY (2013), qui a trouvé des valeurs qui varient entre 7,3% et 10,52%.

L'ASEAN (*Association of South East Asian Nations*) mentionne une teneur moyenne de 7,9% pour le riz cargo (FAO, 2004). Une teneur moindre de l'ordre de 6,33% a été obtenue par RANDRIMANANTENA (2016) pour la variété HDP10. Cette différence de teneur est

fonction de la variété étudiée et des conditions culturales, telle que la fertilité du sol (RALAMBOFETRA, 1983). La teneur en protéines du son est élevée (15,83%) par rapport à celle du grain de riz. Cette différence de valeurs peut s'expliquer par le fait que la grande majorité des matières nutritives est localisée dans les couches externes du grain.

Les protéines sont des macronutriments, principaux matériaux de construction des êtres vivants. Dans les végétaux, ces protéines sont regroupées dans les corps protéiques qui sont des petits organes se trouvant dans les cellules des cotylédons (CALET, 1992 ; FAO, 1995). Il faut noter que les protéines sont facilement altérables par les traitements technologiques. Ces derniers pourront être responsables de réactions susceptibles de diminuer la qualité nutritionnelle de la denrée par modification de la nature de la protéine (réaction d'oxydation). La cuisson peut diminuer considérablement la teneur en protéines, jusqu'à plus de 50% (RASOANAIVO, 2015).

3.5 Teneur en acides aminés.

Les teneurs en acides aminés des protéines de la variété de riz étudiée ont obtenues par la formule établie par MOSSE (1990) et les résultats sont rapportés dans les tableaux 14 et 15.

Tableau 14: Teneurs en acides aminés des protéines pour 100 g de MS.

AA	Riz	Son
Gly	0,42±0,03	0,94±0,05
Ala	0,50±0,03	1,16±0,05
Val	0,54±0,06	1,32±0,09
Leu	0,73±0,06	1,74±0,09
Ile	0,37±0,08	0,94±0,11
Ser	0,45±0,05	1,15±0,08
Thr	0,32±0,03	0,74±0,04
Tyr	0,46±0,04	1,15±0,06
Phe	0,46±0,05	1,09±0,08
Trp	0,11±0,01	0,26±0,01
Pro	0,40±0,06	0,98±0,09
Met	0,23±0,08	0,41±0,12
Cys	0,24±0,06	0,39±0,08
Lys	0,36±0,03	0,72±0,05
His	0,22±0,03	0,47±0,04
Arg	0,77±0,08	1,72±0,13
Asx	0,81±0,06	1,81±0,09
Glx	1,50±0,16	3,89±0,24

AA : Acides aminés; Glx : Glu et Gln ; Asx : Asp et Asn.

Exemple de calcul : teneur en glycine dans les protéines du riz (N% = constant = 1,344 ; a = 283 ; b = -8)

$$\text{TGly} = \frac{283 \times 1,344 - 8}{1000} = 0,37. \text{ Sachant que la teneur en MS est } 89,43$$

Alors, TGly en % de MS est : $\text{TGly} = 0,37 \times 100/89,43 = 0,42$

Tableau 15 : Teneurs en acides aminés par rapport à 100 g de protéines.

AA	Riz	Son
Gly	4,73±0,21	4,48±0,08
Ala	5,62±0,31	5,58±0,16
Val	6,07±0,04	6,33±0,03
Leu	8,23±0,27	8,32±0,18
Ile	4,14±0,43	4,47±0,23
Ser	5,10±0,03	5,49±0,03
Thr	3,59±0,09	3,56±0,04
Tyr	5,15±0,13	5,51±0,11
Phe	5,22±0,03	5,23±0,01
Trp	1,26±0,01	1,26±0,04
Pro	4,45±0,21	4,70±0,08
Met	2,48±0,62	1,97±0,44
Cys	2,63±0,35	1,87±0,23
Lys	4,05±0,07	3,45±0,02
His	2,48±0,06	2,25±0,05
Arg	8,72±0,07	8,23±0,02
Asx	9,13±0,37	8,69±0,20
Glx	16,94±0,09	18,62±0,18

L'échantillon de riz étudié contient presque tous les acides aminés à des proportions différentes aussi bien dans le riz que dans le son. Par rapport aux autres acides aminés, la teneur en arginine paraît la plus élevée dans le riz tandis que la leucine prédomine dans le son. Le tryptophane par contre, constitue un acide aminé en déficience pour la variété FOFIFA MADIKATRA.

3.6 Taux d'acides aminés indispensables.

Les teneurs en acides aminés indispensables des protéines de la variété madikatra sont rapportées dans le tableau 16 (p 31).

Tableau 16 : Teneurs (%) en acides aminés indispensables.

AAI	Riz	Son
Val	6,07±0,04	6,33±0,03
Leu	8,23±0,27	8,32±0,18
Ile	4,14±0,43	4,47±0,23
Thr	3,59±0,09	3,56±0,04
Lys	10,37±0,13	10,74±0,12
Met+Cys	5,11±0,96	3,84±0,67
Phe+Tyr	4,05±0,07	3,45±0,02
Total (%)	41,56±0,81	40,70±0,55

Les protéines de la variété de riz étudiée renferment des teneurs importantes en acides aminés indispensables avec des valeurs égales à 41,56% pour le riz et 40,72% pour le son. Ces valeurs sont supérieures à 32%, valeur minimum requise, selon la FAO, pour que la protéine soit considérée de bonne qualité biologique. Les teneurs en acides aminés de la variété Madikatra sont comparables aux résultats obtenus par RASOANAIVO (2015) sur 8 variétés de riz pluvial étudiées.

3.7 Indices chimiques des acides aminés essentiels et des protéines.

Les indices chimiques des acides aminés essentiels de la variété étudiée sont comparés à deux profils de référence et les résultats sont consignés dans les tableaux 17 et 18 (p 32).

Tableau 17 : Scores chimiques de la variété de riz selon le profil de référence des enfants de moins de 2 ans.

AAI	Val	Leu	Ile	Thr	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	His	Trp
Reference (FAO)	55	93	46	43	66	42	72	26	17
Madikatra	110,91	87,85	91,30	83,49	60,91	123,57	143,75	96,15	73,53

Les résultats de ce tableau montrent que la lysine est l'acide aminé ayant le plus faible indice chimique (60,91). Cette valeur est inférieure à celle recommandée par la FAO pour les enfants âgés de moins de deux ans. La lysine constitue alors l'acide aminé facteur limitant de la protéine du riz étudié. La complémentation en aliments protéiques riches en lysine est nécessaire pour les enfants de ce groupe d'âge qui consomment le riz FOFIFA MADIKATRA dans leur alimentation.

Tableau 18 : Scores chimiques des protéines de la variété de riz selon le profil de référence des enfants de plus de 2 ans et adultes.

AAI	Val	Leu	Ile	Thr	Lys	Met+Cys	Phe+Tyr	His	Trp
Référence (FAO)	35	66	28	34	58	25	63	19	11
Madikatra	174,29	123,79	150	105,59	69,31	207,60	164,29	131,58	113,64

Les résultats du tableau 18 montrent que les teneurs en acides aminés du riz FOFIFA Madikatra répondent aux besoins en acides aminés essentiels des enfants âgés de plus de 2 ans et adultes car, toutes les valeurs des indices chimiques sont supérieures aux valeurs de référence. Cependant, la lysine possède également l'indice chimique le plus bas. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus dans les autres variétés de riz en général.

3.8 Teneur en glucides totaux pour 100g de matière sèche (G%).

Le tableau 19 représente les résultats obtenus par déduction de la teneur en glucides totaux pour 100 g de matière sèche.

Tableau 19 : Teneur en glucides totaux pour 100 g de MS.

Echantillon	Grain de riz	Son
G(%)	89.87±0.51	56.92±3.17

La plus grande fraction du riz usiné est composée de glucides (FAO, 2004). La teneur moyenne en glucides obtenue est de 89,87% pour le riz et 56,92% pour le son de riz. Ces résultats confirment ceux de MAHAMAT-SILAY (1981), classant le riz au premier rang des céréales possédant la teneur la plus élevée en glucides, devant le maïs et les autres céréales couramment consommées.

Tableau 20 : Comparaison de la teneur en glucides du riz avec quelques aliments usuels.

ALIMENT	Variété	Glucide (%)	Source
Riz	FOFIFA MADIKATRA	89,87	MAHAMAT-SILAYE (1981)
	Scrid186	90,96	
	Forcé mano	81	
Maïs	ZM10	77,7	RASOANANDRASANA (2016)
Haricot	MN-9	73,99	RAKOTOARIMANANA (2003)
Igname	<i>D. het</i>	89,88	

D. het=*Dioscorea heteropoda*

3.9 Teneur en amidon du riz.

L'amidon est le principal constituant des glucides du riz. La variété MADIKATRA possède une teneur égale à 82,4% de MS. Ce taux est comparable avec celui obtenu par RASOANAIVO (2015) avec une teneur maximum de 81,15%. L'amidon est un polymère de D-glucose (ZHOU *et al.*, 2002). Il est constitué par l'amylose, un polymère linéaire de D-glucose en $\alpha(1-4)$, et l'amylopectine, un polymère de D-glucose en $\alpha(1-4)$ avec des ramifications en $\alpha(1-6)$ (MERTENS, 2009).

Tableau 21 : Comparaison de la teneur en amidon de quelques variétés de riz (g/100 g de MS).

Variété	Teneur en amidon % MS	Source
FOFIFA MADIKATRA	82,4	
Fa152	81,15	RASOANAIVO (2015)
Fa173	72,99	
HDP10	80,13	RANDRIAMANANTENA (2016)
Riz habituel	77,37	

3.10 Valeur énergétique globale des échantillons.

La valeur énergétique fournie par 100 g d'échantillons est notée dans le tableau 22.

Tableau 22 : Valeur énergétique globale pour 100 g de matière sèche.

Echantillon	Grain de riz	Son
E (kcal)	403,2	388,4

Les valeurs énergétiques des échantillons analysés sont, 403,2 Kcal pour le grain de riz et 388,8 Kcal pour le son de riz. 81,7% de l'énergie fournie par le riz est d'origine glucidique. Le riz est donc un aliment très énergétique et hyperglucidique. Il couvre jusqu'à 20% des besoins énergétiques de la population mondiale, contre le blé et le maïs qui en couvrent respectivement 9% et 5% (FAO, 2004). Les valeurs obtenues sont comparables à celles obtenues par RASOANAIVO (2015) sur huit (8) variétés de riz étudiées et celle obtenue par RANDRIAMANANTENA (2016) sur la variété IR58614, (406,3 Kcal).

3.11 Teneur en phytates.

L'étude de la teneur en acides phytiques a été réalisée sur la farine de riz et sur le son. Seule l'étude sur le son de riz a révélé des résultats considérables avec une teneur égale à

24,68 mg/100 g de MS. Cette teneur est comparable avec celles de la littérature. RAMAROJAONA (2014) a obtenu des résultats similaires pour certaines des variétés étudiées : *Makalioka* (23,89 mg/100 g de MS), *Fotsiambo* (26,89 mg/100 g de MS). L'absence d'acide phytique dans la farine de riz peut confirmer un bon résultat de la transformation appliquée. La présence d'acide phytique dans le son de riz, lui confère d'une part un intérêt sanitaire, pour la réduction des risques de certaines maladies et pour l'amélioration de certaines fonctions visuelles. Mais d'autre part, elle peut être nuisible à la santé, selon sa teneur, dans la mesure où elle exerce un pouvoir chélateur sur des composés indispensables comme le potassium, le phosphore, le calcium et le magnésium (MIYACHI *et al.*, 1987).

3.12 Capacité antioxydante de l'huile de son de riz.

Etant donné la richesse en lipides du son, l'évaluation des potentialités antioxydantes de son huile paraît intéressante. La méthode par DPPH qui est une méthode de choix pour la détermination de la capacité antioxydante totale des produits végétaux ou alimentaires a été mise en œuvre. En annexe 2 sont présentés les résultats de l'évaluation de la stabilité et intervalle de linéarité des solutions de DPPH et des solutions filles du Trolox. La stabilité de l'échantillon est vérifiée en mesurant son absorbance toutes les 5 min pendant 25 min. Après stabilisation de la réaction, la valeur de la capacité antioxydante de l'échantillon à la 25^e min est de 6,81 $\mu\text{mol.TE/g}$. Cette valeur est comparable à celles de RAMAROJAONA (2014), sur l'étude de la capacité antioxydante de variétés pluviales (*Fotsiambo*, 7 $\mu\text{mol.TE/g}$; F167, 7,5 $\mu\text{mol.TE/g}$ et *Telorirana*, 6,37 $\mu\text{mol.TE/g}$) et irriguées (*Dista*, 6,82 $\mu\text{mol.TE/g}$ et *Tsemaka*, 5,75 $\mu\text{mol.TE/g}$).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de notre travail, nous avons pu :

- nous familiariser aux différentes techniques utilisées en laboratoire pour le dosage des valeurs nutritionnelles et la caractérisation physique des aliments ;
- approfondir, nos connaissances sur la nouvelle variété de riz MADIKATRA ;
- dégager les informations sur la composition nutritionnelle, les propriétés antioxydantes, les facteurs antinutritionnels et les caractéristiques physiques de la variété étudiée.

La variété de riz étudiée présente des caractéristiques physicochimiques intéressantes. Sa faible teneur en eau dans le son (8,40%) et dans le riz (10,57%), lui confère une très bonne aptitude à la conservation d'une part et d'autre part une teneur importante en nutriments.

La faible teneur en lipide du riz (1,52%) est conforme aux valeurs des autres variétés en générale. Ce qui épargnerait l'échantillon des altérations rapides. La variété MADIKATRA peut être classée parmi les aliments énergétiques du fait de sa teneur élevée en glucides amyliques (82,4 % de MS). La disponibilité des différents acides aminés dans les protéines du riz étudié encourage sa consommation. Toutefois, la complémentation par d'autres aliments riches en lipides et protéines riches en lysine serait recommandée. La valorisation du son serait intéressante, pour sa forte teneur en huile riche en propriété antioxydante (6,81 $\mu\text{mol.TE/g}$).

Ce travail est loin d'être exhaustif, il serait intéressant de l'améliorer dans l'avenir en :

- adoptant des techniques de décorticage appropriées pour la séparation des différents sous-produits ;
- maximisant l'utilisation du son de riz en complément alimentaire
- étudiant l'effet de l'étuvage et le comportement à la cuisson de cette variété ;
- étudiant les acides gras constitutifs des lipides du son par chromatographie en phase gazeuse ;
- menant une étude approfondie sur l'analyse nutritionnelle, notamment pour la détermination de la teneur en sels minéraux et en vitamine ;
- évaluant l'appréciation de la variété par les consommateurs à partir des analyses sensorielles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADRIAN J., POTUS J. & FRANGNE R. LA SCIENCE ALIMENTAIRE DE A à Z, 2^{éd} Paris. Technique et documentation Lavoisier, 1995 ; 477 p.

AFNOR. CONTROLE DE QUALITE DES ALIMENTS : METHODES D'ANALYSES OFFICIELLES, 1^{ère} Ed. Paris : *AFNOR*, 1989 ; 373 p.

AFNOR. CORPS GRAS, GRAINES OLEAGINEUSES ET PRODUITS DERIVES, 5^{ème} Ed. Paris : *AFNOR*, 1993 ; 663 p.

AFNOR. VIANDES, PRODUITS A BASE DE VIANDES ET PRODUITS DE LA PECHE : DETERMINATION DE LA TENEUR EN AZOTE TOTAL ET CALCUL DE LA TENEUR EN PROTEINES. NF V 04-416, 2002 ; 11 p

AUBERT V., RAZAFIRISON S. & BERTRAND A. DEFORESTATION ET SYSTEME AGRAIRE A MADAGASCAR : LES DYNAMIQUES DES TAVY SUR LA COTE ORIENTALE. Edition Quae, 2003 ; 210 p.

AUDIGIE C. & ZONSZAIN F. LA BIOCHIMIE STRUCTERALE. Paris : DION éd, Biosciences et Techniques, 1996 ; 238 p.

BLANC-PAMARD C. & RAKOTO RAMIARANTSOA H. LE TERROIR ET SON DOUBLE. TSARAHONENANA, 1966-1992. MADAGASCAR. IRD Editions, Paris: 2000 ; 254 p.

CALET C. LES LEGUMES SECS, APPORT PROTIDIQUE. ALIMENTATION ET NUTRITION HUMAINES. Paris, 1992.

CHEFTEL J. C. & CHEFTEL H. INTRODUCTION A LA TECHNOLOGIE DES ALIMENTS, 6^{ème}Ed. Paris : Lavoisier Tec.et Doc.; voll, 1990 ; 362 p.

CIRAD. LE RIZ QUI NOURRIT LE MONDE, 2002 ; 8 p.

CODEX ALIMENTARIUS. CEREALES, LEGUMES SECS, LEGUMINEUSES ET MATIERES PROTEIQUE VEGETALES. 1[°] éd Rome, 2007 ; 57-64.

DUPIN H. LES ALIMENTS. 4^{ème} éd. Collection « Que sais-je ? ». Paris, 1992 ; 128 p.

ENCARTA. LE RIZ. Microsoft Etude, 2009.

FAO. GUIDE DES ALIMENTS DE BASE DANS LE MONDE. Rome, 1995.

FAO. RIZ ET ALIMENTATION HUMAINE. Année internationale du riz, Rome-00100 : 2004.

FAO/OMS/ONU. BESOINS ENERGETIQUES ET BESOINS EN PROTEINES ; série Rapport techniques 724, Genève : OMS, 1986.

FOFIFA. LE RIZ DANS LA NUTRITION HUMAINE, 1998.

FRANÇOIS P. BUDGET ET ALIMENTATION DES MENAGES RURAUX. Rapport final ; commissariat général au plan I.N.S.R.E, 1962 ; 14-39.

GAYDOU E., LA SITUATION DES CORPS GRAS ALIMENTAIRES A MADAGASCAR, POSSIBILITE D'AMELIORATION GRACE A L'HUILE DE SON DE RIZ. ESSA, 1980.

GODON B. & LOISEL W. DOSAGE DES PROTEINES, In : MULTON J. L. Analyse des constituants alimentaires. Paris : technique et documentation, *LAVOISIER*, 1994 ; 26 p.

GOYON A. & MESTRES C. LE RIZ : BENEFICES ET RISQUES POUR LA SANTE. Cahiers de nutrition et de diététique, 2017 ; 8 p.

HARI K. & PANDE. DIVISION DE LA PRODUCTION VEGETALE ET DE LA PROTECTION DES PLANTES. SYSTEMES AMELIORES DE RIZICULTURE PLUVIALE. Rome, 1997 ; 13 p.

IBRAHIM S. A. VALORISATION DES FRUITS DE *Cycas thouarcii* DANS L'ALIMENTATION DE LA POPULATION COMORIENNE. [Thèse De Doctorat : Biochimie, Sciences de l'Alimentation et Nutrition, Faculté Des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2014 ; 130 p.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE / DIRECTION DES STATISTIQUES DES MENAGES, INSTAT/DSM., ENQUETE PERIODIQUE AUPRES DES MENAGES 2010 : Rapport Principal. Antananarivo, Madagascar, 2011 ; 372 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO. Norme ISO n° 8402 : Management de la qualité et assurance qualité ; Indice de classement, 1995 ; 50-120.

JULIANO B. O. STRUCTURE DU GRAIN, COMPOSITION ET CRITERES DE QUALITE POUR LE CONSOMMATEUR. In : « LE RIZ DANS LA NUTRITION HUMAINE ». Collection FAO : Alimentation et nutrition, n°26, 180, 1994 ; 39-66.

JULIANO B. O. RICE: CHEMISTRY AND TECHNOLOGY, 2nd ed. St Paul, USA, Am. Assoc. Cereal Chemistry, 1985 ; 774 p.

KENT N. L. TECHNOLOGY OF CEREALS WITH SPECIAL REFERENCE TO WHEAT. 2nd edition. Pergamont International Library, 1975.

LACHARME M. LE PLANT DE RIZ : DONNEES MORPHOLOGIQUES ET CYCLE DE LA PLANTE : fascicule 2, Coopération Française, 2001 ; 15 p.

LATTA M. & ESKIN M. A SIMPLE METHOD FOR PHYTATE DETERMINATION. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1980, 1313-1315

MAHAMAT-SILAYE O. ETUDE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET DE LA VALEUR NUTRITIVE DE QUELQUES ALIMENTS DU SENEGAL : CEREALES LOCALES AMELIOREES, LEGUMINEUSES, FEUILLES, GRAINES, POISSON « THIOF » ET ESCARGOT DE MER « YETTE ». [Rapport de stage : deuxième année en nutrition], Sénégal : ORSTOM-Nutrition, 1981 ; 39 p.

MAYER J & BONNEFOND R. LES RIZICULTURES PAYSANNES : AMELIORATIONS POSSIBLES. [*Secrétariat d'Etat aux affaires étrangères*]. Paris, France, 1973 ; 216 p.

MEERTENS B. & MICHIEL D. V. AMELIORER LA RIZICULTURE DE BAS-FONDS, première édition, AGRODOK, 2014 ; 11-12.

MEMENTO DE L'AGRONOME. CD-Rom 2: CIRAD, GERT & MAE, 2002.

MERTENS C. CONTRIBUTION A L'ETUDE DU VIEILLISSEMENT PHYSICO-CHIMIQUE DE PRODUITS PREGELATINISES OBTENUS PAR TECHNOLOGIE ROLLER ET DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE D'ANALYSE DE LEURS VOLATILS PAR TD-GC-MS. [Mémoire d'ingénieur : Chimie et Bio-industries Faculté Des Sciences Agronomiques de Gembloux]. Université de Gembloux, 2009 ; 76 p.

MIYOSHI H., OKUDA T., KOBAYASHI N., OKUDA K. & KOISHI H. EFFECTS OF RICE FIBER ON MINERAL BALANCE IN YOUNG JAPANESE MEN. *Nippon Eiyo Shokuryo Gakkaishi*, 40 : 1987 ; 165-170.

MOSSE J. ACIDES AMINES DE 16 CEREALES ET PROTEAGINEUX : VARIATION ET CLE DU CALCUL DE LA COMPOSITION EN FONCTION DU TAUX D'AZOTE DES GRAIN(E)S. CONSEQUENCES NUTRITIONNELLES. In *INRA. Prod-Anim* 1990 ; 103-119.

OFFICE NATIONALE DE LA SECURITE SANITAIRE DES PRODUITS ALIMENTAIRES (ONSSA). CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES DES CEREALES, LEGUMINEUSES ET PRODUITS DERIVES : RIZ PADDY-spécification ; NM 08.1.236 ; 2008.

PENCHEV P. I. ETUDE DES PROCEDES D'EXTRACTION ET DE PURIFICATION DE PRODUIT BIOACTIFS A PARTIR DE PLANTES PAR COUPLAGE DE TECHNIQUES SEPARATIVES ET A HAUTE PRESSIONS. [Thèse De Doctorat : Génie Des Procédés Et De L'environnement, Institut National Polytechnique De Toulouse]. Toulouse : Université De Toulouse, 2010 ; 193 p.

RADANIELINA T. DIVERSITE GENETIQUE DU RIZ (*Oryza sativa* L.) DANS LA REGION DE VAKINANKARATRA, MADAGASCAR : STRUCTURE, DISTRIBUTION ECO-GEOGRAPHIQUE & GESTION *in situ*. [Thèse de Doctorat : Génétique et Amélioration des Plante, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement]. Paris : Université Agro Paris Tech, 2010 ; 144 p.

RAHANITRARIVONY V. IDENTIFICATION DES CRITERES DE QUALITE DU RIZ DE MADAGASCAR ; RECHERCHE DES DETERMINANTS DE LA TEXTURE DU RIZ CUIT. [Thèse De Doctorat : Biochimie Alimentaire Et Nutrition, Faculté Des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2013 ; 136 p.

RAKOTOARIMANANA R. DETERMINATION DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE DE «*Dioscoreahétéropode* » ET «*Dioscoreaseriflora* », TUBERCULES D'IGNAMES RECOLTES SUR LES REGIONS DES HAUTS PLATEAUX. [Mémoire De DEA : Biochimie Alimentaire, Faculté Des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2003 ; 59 p.

RAKOTOARISOA J. LES SYSTEMES DE CULTURES RIZICOLES A MADAGASCAR ET LES STRATEGIES DE LA RECHERCHE POUR L'INTENSIFICATION RIZICOLE. In Karoka n°22. Département de Recherches Rizicoles, FOFIFA, 2004 ; 6p.

RAKOTOSEHENO R. PRODUCTION DE RIZ : MADAGASCAR AU 19^{EME} RANG. Direction générale de gestion financière et du personnel de l'état, 2017.

RALAMBOFETRA E. CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE COMPAREE DE VARIETES DE RIZ DE MADAGASCAR. [Thèse de doctorat de 3ème cycle. Facultés des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 1983 ; 35 p.

RALISON C., BADER E. & DELIGIA C. PROFIL NUTRITIONNEL DE MADAGASCAR : division de l'alimentation et de la Nutrition, FAO, 2005 ; 48 p.

RAMAROJAONA O. A. LES VERTUS DU SON DE RIZ PAR SES POTENTIALITES NUTRITIONNELLES ET ANTIOXYDANTES. [Mémoire De DEA : Biochimie Alimentaire, Faculté Des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2014 ; 44 p.

RANDRIAMANANTENA L. H. ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE ET ORGANOLEPTIQUE DE LA LIGNEE DOUBLE HAPLOIDE HDP10 DU RIZ (*Oryza sativa L.*) AVEC D'AUTRES VARIETES DE RIZ. [Mémoire de Master : Sciences des Aliments et Nutrition, Faculté Des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2016 ; 52 p.

RANDRIANARISON, L. B. CONTRIBUTION A L'ETUDE ECONOMIQUE DE LA FERTILISATION DU SOL SUR CULTURE DE RIZ EN SRI : CAS DE L'UTILISATION DU COMPOST TANANAMADIO ET DU TAROKA DANS LA COMMUNE RURALE DE BEHENJY. [Mémoire de fin d'études d'ingénieur : Ecole Supérieur des Sciences Agronomiques]. Département Agriculture, 2011 ; 45 p.

RANOVONA Z. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES, CAPACITE ANTIOXYDANTE ET FACTEURS ANTINUTRITIONNELS DE QUELQUES LEGUMES FEUILLES MALGACHES. [Mémoire de DEA : Biochimie Alimentaire, Faculté Des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2012 ; 92 p.

RASOANAIVO R. M. CARACTERISATION DE LA QUALITE DU RIZ PLUVIAL : VALEUR NUTRITIONNELLE ET TEXTURE DU RIZ CUIT. [Mémoire de DEA : Biochimie Alimentaire, Faculté des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2015 ; 59 p.

RASOANANDRASANA M. V. ASPECTS NUTRITIONNELS, ANTINUTRITIONNELS ET CARACTERISATION D'AMIDON DE 4 VARIETES DE HARICOT COMMUN *Phaseolus vulgaris* (FABACEAE). [Mémoire de Master : Sciences des Aliments et Nutrition, Faculté des Sciences]. Antananarivo : Université d'Antananarivo, 2016 ; 47 p.

SERPANTIE G., RASOLOFOHARINORO & CARRIERE S. TRANSITIONS AGRAIRES, DYNAMIQUES ECOLOGIQUES ET CONSERVATION: le "corridor" Ranomafana-Andringitra (Madagascar). IRD Editions, 2007 ; 278 p.

SERPEN A., CAPUANO E., FOGLIANO V. & GÖKMEN V. A NEW PROCEDURE TO MEASURE THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF INSOLUBLE FOOD COMPONENTS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007 ; 55 ; 7676-7681.

TATEOKA T. TAXONOMIC STUDIES OF ORYZA III. KEY TO THE SPECIES AND THEIR ENUMERATION. *Bot. Mag.*, 76 (899), Tokyo, 1963 ; 165-173.

VAINTRAUB I. A. & LAPTEVA N. A. COLORIMETRIC DETERMINATION OF PHYTATE IN UNPURIFIED EXTRACTS OF SEEDS AND THE PRODUCTS OF THEIR PROCESSING. *ANALYTICAL BIOCHEMISTRY*, 1988 ; 227-230.

ZHOU Z., ROBARDS K., HELLIWELL S. & BLANCHARD C. REVIEW-COMPOSITION AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF RICE. *International Journal of Food Science and Technology*, 2002 ; 37, 849-868.

Webographie

<http://www.biolineaires.com> : le son de riz, un trésor nutritionnel.

http://www.exporthelp.europa.eu/thdapp/index_fr.html.

<http://www.fao.org>.

<http://www.biolineaires.com> : le riz dans tous ses états.

<http://www.ricehub.org>.

<http://www.zurvita-nutrition.com/report.php>.

ANNEXES

Annexe 1 : photos des appareils.



MINERALISATEUR



DISTILLATEUR



APPAREIL SOXHLET



ETUVE



FOUR A MOUFLE

PLAQUE CHAUFFANTE



ROTAVAPOR

PIED A COULISSE ELECTRONIQUE

Annexe 2 : Préparation des solutions de CAREZ I et CAREZ II pour le dosage de l'amidon.

- Solution de CAREZ I : 21.9g d'acétate de zinc $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ et 3g d'acide acétique glacial sont dissous dans 100ml d'eau distillée.
- Solution de CAREZ II : 10.6g de ferrocyanure de potassium $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ sont dissous dans 100ml d'eau distillée.

Annexe 3 : Préparation des réactifs et de la gamme étalon pour le dosage des phytates

1 - Préparation des réactifs

Rose de Wade (0,03% $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ et 0,3% d'acide sulfosalicylique) : 1,5 g d'acide sulfosalicylique et 150 mg de chlorure ferrique ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) sont dissous dans 500 ml d'eau distillée.

Solution d'acide chlorhydrique 2,4% (0,6 N) pH 1 : 32,5 ml d'acide chlorhydrique 37% est ajouté dans 500 ml d'eau distillée.

2 - Préparation de la gamme étalon

Solution mère de phytates à 1,5 mM : on dissout 27,6mg de phytates (acide phytique) dans 20 ml d'eau distillée. Cette solution est ensuite conservée à 4°C au réfrigérateur.

Solution d'acide chlorhydrique 0,1% : on prélève 20 ml d'acide chlorhydrique 2,4% que l'on dilue dans 500 ml d'eau distillée. Cette solution est utilisée pour diluer la gamme étalon.

Solution fille : on mélange 300 μ l de solution mère de phytates à 1,5 mM avec 120 μ l d'acide chlorhydrique à 2,4% et 2,6 ml d'eau distillée, de manière à obtenir l'équivalent d'une dilution de la solution mère au $1/10^{\text{ème}}$ dans de l'acide chlorhydrique à 0,1%.

Tableau a : gamme étalon de l'acide phytique

Concentration (en $\mu\text{g/ml}$)	Dilution	Préparation de la dilution
41,5 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{2}$	1 ml de solution fille + 1 ml de HCl 0,1%
27,7 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{3}$	0,5 ml de solution fille + 1 ml de HCl 0,1%
20,8 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{4}$	1 ml de dilution $\frac{1}{2}$ + 1 ml de HCl 0,1%
13,8 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{6}$	0,5 ml de dilution $\frac{1}{3}$ + 0,5 ml de HCl 0,1%
10,4 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{8}$	1 ml de dilution $\frac{1}{4}$ + 1 ml de HCl 0,1%
5,2 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{16}$	0,5 ml de dilution $\frac{1}{8}$ + 0,5 ml de HCl 0,1%
0 $\mu\text{g/ml}$	Dilution $\frac{1}{25}$	0.75 ml HCl 0,1% dans tube Ependorf

Annexe 4 : stabilité et linéarité de la solution de DPPH.

La stabilité et la linéarité de la solution de DPPH ont été vérifiées lors de la première analyse, afin de s'assurer que celle-ci peut être utilisée pour les analyses. Ainsi, les courbes de stabilités ont été tracées. Absorbance DPPH = f (temps) et une calibration a aussi été tracée : Absorbance = f ([DPPH]).

Tableau b : absorbances à 517nm des solutions filles de DPPH en fonction du temps.

Temps (min)	concentration des solutions de DPPH				
	100	50	25	10	5
0	2,48	1,391	0,719	0,278	0,207
10	2,451	1,356	0,665	0,267	0,209
20	2,443	1,332	0,664	0,239	0,187
30	2,439	1,318	0,645	0,235	0,178
40	2,435	1,312	0,612	0,229	0,167
50	2,431	1,313	0,601	0,223	0,158
60	2,431	1,313	0,599	0,212	0,158

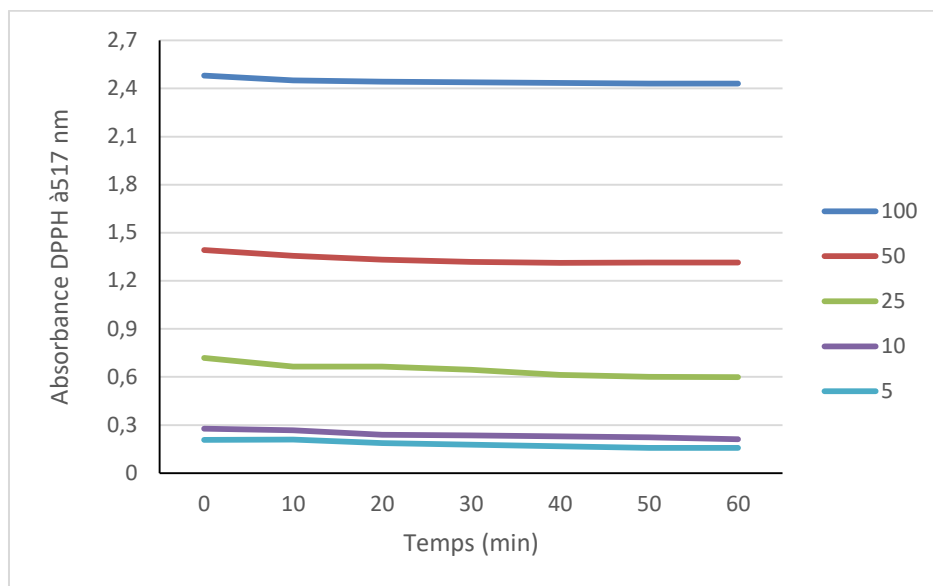


Figure a : courbes de stabilité de la solution de DPPH, Absorbance = f (temps).

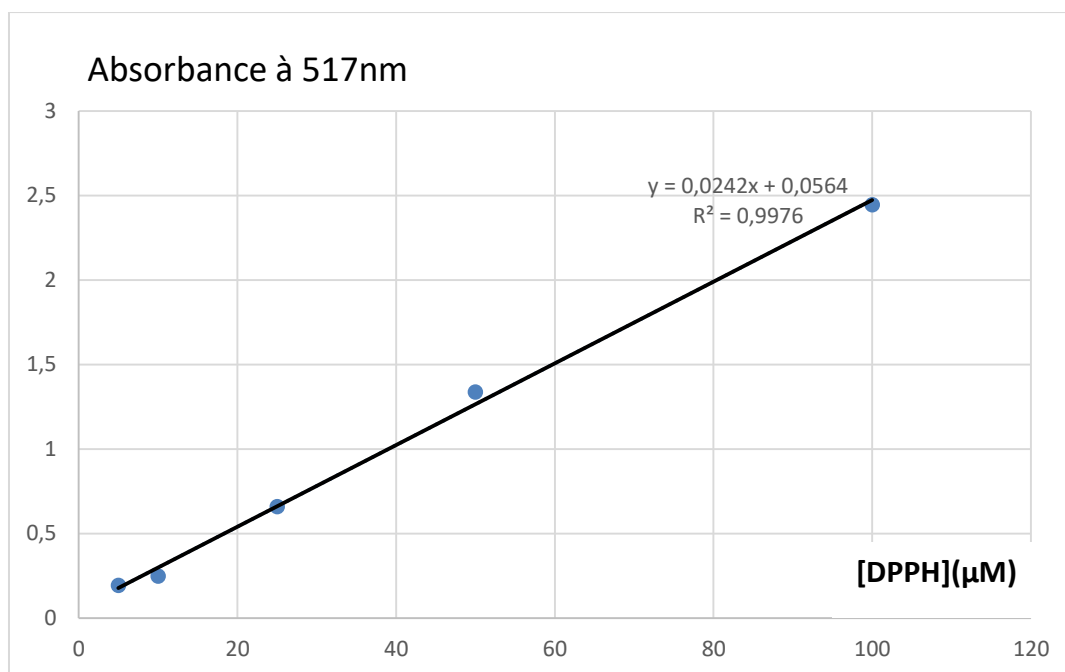


Figure b : droite de calibration de la solution de DPPH Absorbance = f ([DPPH])

Stabilité des solutions filles de Trolox.

Lors des premières analyses, la stabilité des solutions filles de Trolox préparées pour la gamme étalon a été vérifiée. L'absorbance des différentes solutions a été mesurée toutes les deux minutes et les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau c : Absorbances à 517nm des solutions filles de Trolox en fonction du temps.

Temps (min)	concentration des solutions filles de Trolox (μM)					
	65	32,5	16	6,5	3,3	0
0	0,044	0,554	0,751	0,818	0,956	1,095
2	0,042	0,554	0,75	0,818	0,953	1,078
4	0,041	0,553	0,752	0,817	0,953	1,051
6	0,038	0,552	0,748	0,815	0,951	1,041
8	0,037	0,552	0,747	0,814	0,949	1,043
10	0,033	0,548	0,746	0,813	0,947	1,016

Annexe 5 : Tableau de MOSSE (1990).

Tableau d : valeurs de a, b et r utilisées pour le calcul de la composition en acides aminés des grains de riz sont rapportées dans le tableau ci-dessous (avec leurs écarts types)

AA	a	b	r
Gly	283 \pm 9	-8 \pm 14	997
Ala	365 \pm 9	-46 \pm 15	998
Val	425 \pm 17	-87 \pm 28	995
Leu	550 \pm 17	-90 \pm 28	997
Ile	306 \pm 23	-78 \pm 37	984
Ser	378 \pm 15	-102 \pm 24	995
Thr	231 \pm 8	-25 \pm 13	996
Tyr	379 \pm 11	-102 \pm 18	997
Phe	342 \pm 15	-45 \pm 24	995
Trp	82 \pm 3	-11 \pm 4	997
Pro	320 \pm 17	-74 \pm 28	991
Met	106 \pm 23	59 \pm 38	986
Cys	88 \pm 16	92 \pm 25	993
Lys	201 \pm 11	49 \pm 18	997
His	135 \pm 9	17 \pm 15	996
Arg	517 \pm 25	-2 \pm 40	965

Chacun des 19 acides aminés est caractérisé par 3 coefficients : la pente a, l'ordonnée à l'origine b, et le coefficient de corrélation r. Ces données sont fournies après multiplication par 1000 pour éviter des décimales encombrantes. (MOSSE, 1990).

Annexe 6 : carte variétale du riz.

CARTE VARIETALE RIZ

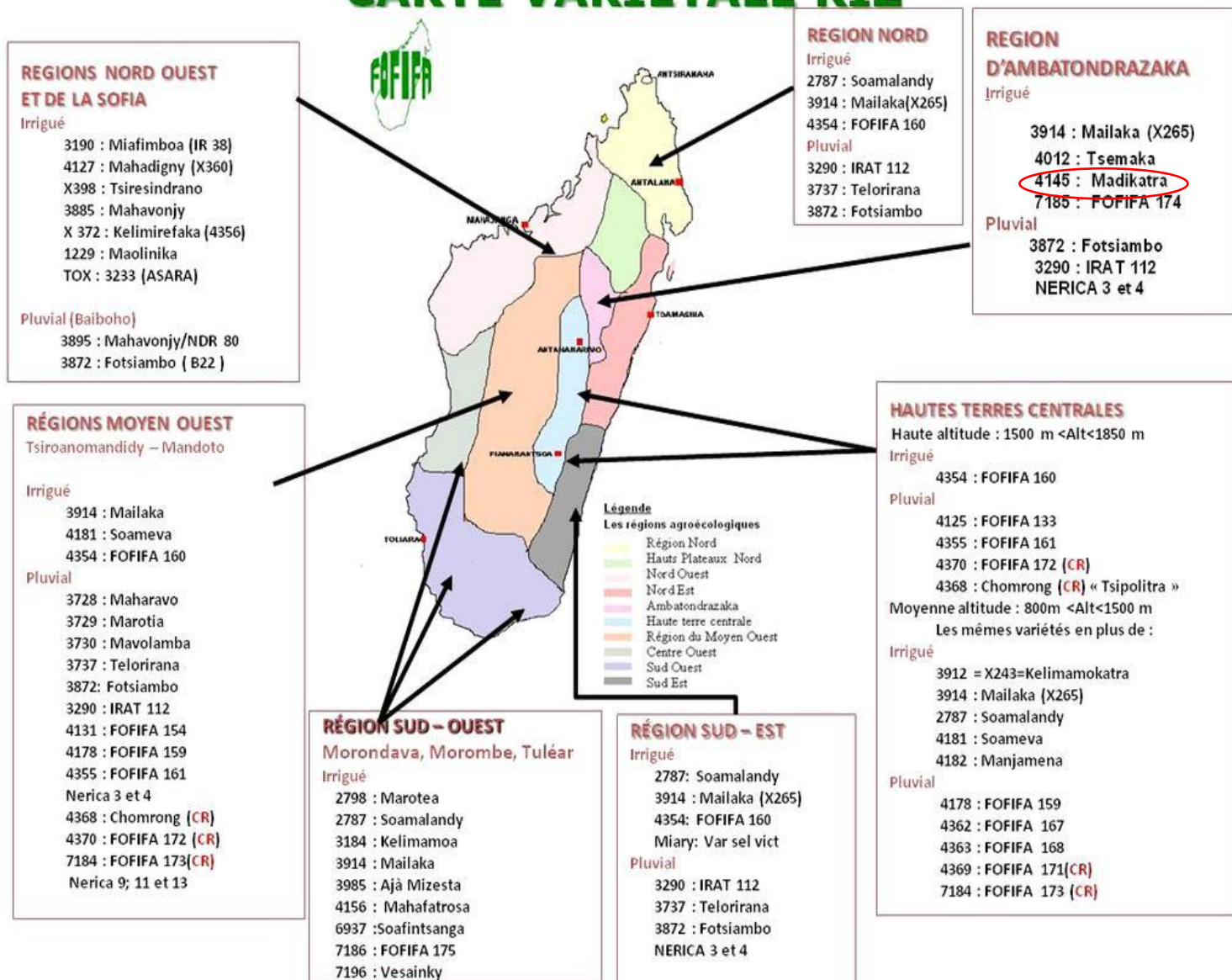


Figure c : Carte des variétés de riz cultivés à Madagascar